BALANCE OF THE PLANET

バランス オブ ザ フラネット

USER MANUAL

Balance of the Planet

by

Chris Crawford

<はじめに>

この度は、当社製品「バランス・オブ・ザ・プラネット」をお買い求めいただき誠にありがとうございました。 このソフトは、いわゆるシミュレーションゲームの枠を越えたとても不思議なソフトです。 形式はあくまでゲームなのですが、プレイした感覚はもしかするとゲームとは対極的なものになるかもしれません。

このソフトは地球の環境問題をテーマに作られています。 でも勘違いはしないでください。ある特定の立場から環境問題をとらえ、擁護したり、支持を促すために作られたものではありません。 プレイを通して、地球の現状や環境問題に対する認識を高めてもらうためのソフトなのです。 そのため第三者の立場から冷静に環境問題を取り上げ、諸問題の因果関係が組み立てられています。

マニュアルの本文にも記載されていますが、環境問題は工業、技術、財政、法律、文化、そして感情的問題などを含んだ、あらゆる分野を包括した複雑な問題です。 もちろんこのソフトにはすべてを解決する正解というものはありません。 ゲームプレイを通して、あなた自身が行なった政策がすべて答えなのです。 そのとき、地球はどんな姿をしているのか、あなた自身で確認してください。

環境問題が抱えている因果関係の複雑さ、地球というスケールでのバランスをとる難しさ、そして地球の未来はどうなるのか、きっとあなたの知的好奇心を満足させてくれるでしょう。

また、ご使用の前に、このマニュアルをよくご覧いただき、末永く「バランス・オブ・ザ・プラネット」をご愛顧ください。

<このマニュアルについて>

このマニュアルがあまりにも分厚いので、読む気が起こらないなんてことになるかもしれません。 でも心配は無用です。 操作の仕方さえ把握してもらえば、あとはマニュアルを参考にしようが、ゲームの中に出て来るカードの説明を参考にしようとゲームを楽しむことができます。 でも、もし読んでみようかな、という気になったら読みたいところだけ読んでみてください。

私たちが、このソフトの移植をする際に決めたことがあります。 それは、原作が持っている魅力や雰囲気をそのまま残す、ということなのです。 もちろん環境問題の複雑さや立場の問題から、このソフトに変な色をつけたくないためということもあります。 けれど一番大きな理由は、ゲームの中に出てくるグラフィックの一枚一枚やカードの説明など、ソフトのどの部分を取っても、クリス・クロフォードとこのソフト制作に携わった多くの人たちの人間的な魅力と才能に支えられているからです。 私たちが勝手に手を加えて、このソフトの持っている魅力を半減させるような愚かなことは絶対にしたくなかったのです。

もしかすると、ゲームの中に出て来る文章が、ちょっと直訳くさいなって思うことがあるかもしれません。 それは私たちが、わざと英語をできるだけ分かり易い日本語に訳しただけで、言い回しを大幅に変えたりしなかったせいなのです。 パッケージもちょっと貧弱だな、と思う人がいるかもしれません。 このパッケージは、基本的にはアメリカで発売されているものとほとんど同じデザインを採用しました。 パッケージの中の説明文も、ほぼ同じように分かり易い日本語に直しただけです。 このマニュアルについてもそうです。 アメリカ版のマニュアルを忠実に訳し、できるだけオリジナルの構成のまま編集してあります。 カードの解説があいうえお順ではなく、ABC 順になっているのもそのせいです。 しかも、パソコンでプリントアウトした原稿をそのまま印刷するスタイルをとりました。 どうやら、原作イメージを損なうことなく商品化できたのではないかと思っています。

私たちは、このソフトのテーマである環境問題に関しては中立の立場を取っています。 マニュアル本文でクリスが言っているように、広範にわたる環境についての立場の、どちら側からも攻撃を受けることを、私たちも覚悟しています。 それでも、一人でも多くの人にこの素晴らしいソフトに触れてもらいたかったのです。 環境問題っていうのはどういう問題なのか、そしてその複雑さの一端でも垣間見てくれれば幸いです。 それが、このソフトの日本語化に携わった多くのスタッフの願いなのです。

私たちは、この素晴らしいソフトを創作してくださった、クリス・クロフォードとこのソフト製作に携わった多くの人たちを賞賛し、そしてこのソフトを購入してくださった貴方に感謝します。

製作者

オリジナル(Macintosh)

ゲーム・デザイン	クリス・クロフォード
アート・ディレクター	アマンダ・グッディナフ
マッキントッシュ・プログラム	クリス・クロフォード
IBMプログラム	フィル・ガロファロ(Incredible Technologies)
	ジム・ヴァイツ(Incredible Technologies)
IBMアート・ワーク	デイル・カークマン・Jr.(Incredible Technologies)
マニュアル	クリス・クロフォード
マニュアル編集、デザイン	スーザン・リー・メロウ(Lee-Merrow Communications)
ボックス・デザイン	シーン・バーガー(Equilibrium)
ボックス・アート	エド・キャッセル(Equilibrium)
ボックス・コピー	スーザン・リー・メロウ(Lee-Merrow Communications)
製作顧問	ブレンダ・ローレル
アートワーク	ピーター&ケイトリン・ミッチェル・デイトン
	ジェイミー・スティーブンズ
	ディーナ・トーマス
製作テスト	コリー・ネルソン(Testing 1-2-3)
プレイテスト	キャロル・バルコム
	ヘザー・ブライドン
	バリー・ゴーツ
	エリック・ゴールドバーグ
	エリック・ハルティーン
	フィリップ・リヴングッド
	デイヴ・メンコーニ
	マリリン・ローザンブラム
	グレッグ・ウイリアムズ
	デイル・ヨーカム

日本語版

プロデュース	株式会社　アクレイムジャパン
プログラム制作	株式会社　ろまんてっく
ゲーム内テキスト翻訳	斎藤　富雄
マニュアル翻訳	斎藤　富雄
マニュアル制作	株式会社　アクレイムジャパン
パッケージ・アートワーク	名越　進

目次

どのようなゲームなのでしょう

もしあなたが突然、地球の環境問題に挑戦する力を与えられたとしたらどうしますか？ この地球をより住みやすく、幸福な場所にすることができるでしょうか？ このゲームは、あなたに力を試す機会を与えてくれます。 このゲームで、プレイヤーは国連の環境問題担当の高等弁務官に指名されます。 強大な権力をふるって、環境に悪影響を与える活動に税金を課し、その税収を環境に良い影響を与える活動に、補助金として配分することができます。 しかし、プレイヤーは地球の人間生活の多様な局面について責任を持たねばならず、その行動は様々な基準によって採点されます。 ゲームを通じて、あなたは環境問題が想像以上に難しいものであることを知ることができるでしょう。

ゲームの目的

与えられた期間内に、高得点を上げることがゲームの目的です。 「生物の種の保存」といったような環境に対する良い貢献をすれば得点が得られます。 しかし、あなたの行動によって「大気汚染による死者」といった被害が起これば減点されます。 様々な行動を通じて、できるかぎり環境を改善し、環境の悪化を最小限にくい止めるように務めなければなりません。

ゲーム早めぐり

ゲームを開始すると、地球が描かれた「タイトル画面」が出ます。 マウスのボタンを押すか、いずれかのキーを押してください。 画面は得点のリストに切り替わります。 これが「得点画面」です。 画面中央上に得点の合計が表示されています。 左側は環境に対する善い行いに与えられる得点のリストです。 右側は環境的悪に対して与えられる減点のリストです。 右側のリストの中から「皮膚癌ポイント」をマウスで指定し、ボタンを押してください。

画面は「皮膚癌ポイント」に切り替わります。 減点ポイント画面であることを表す絵と、皮膚癌による死亡者数によって減点されることを説明する小文が表示されています。 画面の右側は別枠になっており、右下隅は棒グラフの欄で、今のところ1本だけグラフが書き込まれています。 このグラフにはゲーム中に起こる皮膚癌による死亡者の数が表示されていきます。 まだゲームは始まっていないので、ポイントはあまり多くはないでしょう。 しかし、このグラフはゲームを進めていくうちに大変重要なものになります。

棒グラフの上には数字が表示されています。 この数値はグラフ上の最新の棒グラフ——この場合1本目の棒グラフ——の値を表します。 棒グラフは各ターン毎に1本ずつ書き加えられていきますので、この数字からどれだけの変化が起こったかを素早く読み取ることができます。 マウスを使ってグラフ上の特定の棒を指定してやれば、数値は現在の値に代わって指定したターンの値を表示します。

棒グラフの上には「原因」と「結果」の二つのリストが表示されています。 前者は画面の項目の原因となるすべての要素を列挙し、後者はその結果として起こるすべてのことを列挙して

います。 この場合は結果リストには何もなく、原因リストに「皮膚癌による死者」だけが表示されています。 マウスを使ってこの項目を選んでください。 皮膚癌ポイントは皮膚癌による死亡者数の「結果」であり、皮膚癌による死の「原因」は紫外線であることを覚えておいてください。
あなたは、すでに皮膚癌によって大きくポイントを失っているので、なぜそれが起こり、どう対処すべきかを知りたいはずです。 それでは、この問題をもう少し詳しく調査してみましょう。 「紫外線」を選んでください。

新しい画面では、紫外線が太陽から来て成層圏のオゾン層によって一部が吸収されることが説明されています。 ここでは紫外線が様々な影響（結果）を持っていることを覚えておいてください。 さて次になぜ紫外線が皮膚癌を引き起こして人々を死亡させ、あなたが減点されてしまうかということを確かめましょう。 紫外線の原因である「オゾン」を選んでください。

オゾンについて説明する画面に切り替わりました。 原因リストにあるのは「成層圏のフロン」だけですから、これを選びます。 画面は「成層圏のフロン」に切り替わり、さらに詳しい説明を読むことができます。 この画面では原因は対流圏のフロンですから、それを選んで「対流圏のフロン」の画面に移ってください。 おつかれさま。 しかしまだ終わりではありません。対流圏のフロンの原因は「フロンの生産」ですから、それを選んでクロロフルオロカーボン——フロン——についての記述を読んでください。 これであなたはフロンの意味が分かったはずです。 フロンの生産に影響を与えているもの（原因）のひとつは「フロン税」（画面表示は「フロンTax」になっています）です。 それを選ぶと、新しい種類の画面が現れます。

この画面の中央には、フロンの生産に対して影響のある税率を設定することのできる、スクロールバーが付いています。 税金を引き上げれば、それによってフロンの生産は抑制され、結果として大気中に放出されるフロンは減少します。 フロンの減少により、オゾンが増え、紫外線が減り、皮膚癌の死亡者も減少して、あなたの減点も少なくなります。 なかなか、うまい話ではありませんか？ 本当は悪い影響もないわけではないのですが、そうした複雑な要素については後々判ってくるでしょう。 今は単にフロン税を引き上げて先へ進みましょう。 （税率を上げるにはスクロールバーの右の矢印をマウスで指してボタンを押すか、直接目盛りを指して——マウスのボタンを押したまま——右側に移動させます。）

マウスで画面左上の「Game」を指してボタンを押すと、ゲーム・メニューが表示されます。たくさんの選択肢がありますが、ここでは「得点」を選んでください。 そうすれば「得点画面」に戻ります。 「皮膚癌ポイント」を調べてみましょう。 おや？！ 全く変わっていない！どうしてでしょう？ 確かにフロン税を上げたはずなのに…… いいえ、実はまだ何も起こっていないのです。 あなたは、まだこの世界に新しい税金の効果が現れるための「時間」を与えていませんでした。 そうすることは簡単なのですが、その前に見ておきたいものがあります。

ゲーム・メニューで「政策一覧」を選んでください。 画面には財政のリストが表示されます。画面左側は税率のリストで、税収の合計が表示されています。 右側はあなたが配分することのできる、補助金のリストです。 フロン税の項を見れば、先ほどの修正が確かに行われていることが分かるはずです。 それぞれの数値については説明が必要です。

それぞれの生産活動に対して、税金は一定の量単位でかけられます。 例えばフロン税は、工場で生産されるフロン1トンにつきいくら、というやり方で決められます。 もし、フロンの生産高が最初の半分に減少すれば、税収も半分に減ります。 他の税も、生産の一定単位量ごとに徴収されます。

しかし補助金の分配方法は、それとは違っています。 国連は大気汚染に由来する資産の損失を補償しなければならず、同時に税収の残りで他の環境改善のための活動に援助を行わなければなりません。 したがって、このゲームでは税収の総額から、あなたが請求を受ける資産の損失の補償額が自動的に差し引かれます。 残りはすべて、種々の補助金の割り当て率に従って分配されます。 つまり、各補助金は残金の何パーセントという形で決められるのです。 ゲームの開始時には、各補助金の割り当ては、どれも残金の8%となっています。 あなたにできるのは、その割合を操作することです。

環境を改善するためには、値打ちの高い活動を選ぶことが大切です。 マウスで補助金の名前を選ぶと、その補助金の画面に切り替わります。 スクロールバーを操作すれば、残っている予算内でその補助金の割合を変えることができます。 スクロールバーを動かしてみましょう。 バーの操作によって、右隅の棒グラフが変化することに気がつくでしょう（訳注：棒グラフは相対表示のため、最初のターンでは長さの変化はありません）。 スクロールバー上の数値は税や補助金の割合を表し、棒グラフの数値は実際の収入や支出の金額を表しています。 補助金の調整を終えたら、ゲーム・メニューで「政策一覧」を選び、元の画面に戻ってください。 実際に補助金の率が変化しているのが確認できるはずです。

税金については、あまり急激な税率の変更を防ぐため、制限が設けられています。 国連の議決により、一度に無制限に税率を引き上げることは許されないことになっています。 税金は5年間で最高400%までしか引き上げることができません。 急激な税率の引き上げは経済の大混乱を引き起こします。 もし工業に対する税金を400%以上引き上げたければ、数ターンかけて徐々に引き上げていかなければなりません。

補助金の変更については、このような制限はありません。 しかし収支のバランスは保たなければなりません。 このゲームでは、補助金の総額が税収を上回ることは許されません。 したがって、特定の補助金——例えば薪ストーブへの補助金——を大きく増やそうとするなら、まず先に何か他の補助金を削らなければなりません。 ある補助金を引き下げた割合分だけは、他の補助金を引き上げることができるのです。

得点を上げるための基本的な作戦は、できるだけ有効に税を課し、有効に補助金を配分することです。 しかしあなたの直面する環境問題は複雑で、様々な問題が相互にからみあっているために、ゲームは難しい——そして面白い——ものになっています。 この複雑さを解きほぐす唯一の方法は、プログラムの中に設定されている原因と結果の構造を見通すことです。 そのためには多少の時間が必要です。 調査すべき画面は150も用意されているのです。 しかし……これもゲームの楽しみのひとつです。 この原因と結果の網目を奥深くまでたずね歩いているうち

に、環境問題が相互に、そしていかに複雑に絡み合っているかを、あなたは知ることができるでしょう。 迷ったり、自分の政策を確認したくなったら、ゲーム・メニューで「得点」画面や「政策一覧」の画面を選べば、すぐに見慣れた場所に戻ることができます。

満足のいくだけ調査を行い、税や補助金の率を設定し終えたら、いよいよあなたの政策を実行するときです。「得点」画面を呼び出し、メニューの中から「政策の実行」を選んでください。 あなたの政策が環境に与えた影響を計算するのにコンピュータは数秒かかります。 計算が終わると得点表示が変更されます。 おや?! 得点はマイナスですか? なにか、まちがったことをしたのでしょうか?

いいえ、そうではありません。 あなたは着々と破滅へ向かう、深刻な悩みを抱えた星を受け継いだのです。 すべての環境問題を一挙に解決するような、うまい方法はありません。 あなたにできるのは、物事の方向を転換させることです。 最初の数ターンは、事態はどんどん悪い方向へと向かっていきます。 もしあなたの努力が正しいものであるならば、事態は早いうちに改善され、得点は上向きになるはずです。

あなたの政策が正しかったのか、それとも間違っていたのかを読み取るのに役立つ、もうひとつ別の画面があります。 「得点」画面で中央の「現状分析」を選んでください。 「現状分析」画面には、政策の主な問題点と成果が表示されます。 このリストは現在のターンのみに関わるもので、次に何をすれば良いかを考えるヒントになります。 ここは情報だけの画面ですので、見終わったら「得点」画面に戻ってください。

あなたの目的はもちろん高得点を上げることです。 プレイは9ターン行います。 9ターン目が終わり2035年になるとゲームは終了し、その時点での得点がゲームの最終得点になります。これで、おしまいです!

作戦のヒント

最初のうち、あなたはこのゲームの難しさにいらだつかもしれません。 得点はどんどん下がっていくのに、何故そうなるかを良く理解することができないでしょう。 しかし、あきらめないでください! 環境問題はトリッキーであり、それを支配するためには多少の努力が必要です。 もし環境問題が、誰でも即座に解決策を見付けられるほど単純なら、我々は現在のこのような混乱に陥ってはいなかったでしょう。

ゲームの中に働いている因果関係をあなたが理解すれば、勝つことは難しくなくなります。ゲームの中には様々な因果関係が働いています。 したがって、もしその関係をつかむことができなければゲームには勝てません。 例えば前にこのマニュアルで、オゾン層を保護するために、フロン税を引き上げる方法を書きました。 しかし、そこには問題があるのです。 フロンは工業生産に必要なものでもあるのです。 もしフロンの生産を抑制すれば、工業生産高も減少し、他の分野にも悪い影響をおよぼすでしょう。 したがって、むやみにフロンを締め付けることはできません。 この一般原則は、ゲーム全体にあてはまります。 得点がどのように変化するかに注意し、最も深刻な問題は何かを見極めてください。 すべての環境問題を解決することはできなくても、最悪のものに歯止めをかけることはできます。

税操作は成功のカギです。 ときには、生産活動に対して課税を4倍にすることも恐れてはなりません。 最初の税率は、商品の価格のたった1%にすぎないということを覚えておいてください。 もし一度それを引き上げても、たかだか4%に上がるだけで、その生産を妨害するほどにはなりません。 税金はあなたの収入源でもあります。 それらは補助金として有益な仕事に使われる、ということを忘れてはなりません。 時には重税を課すことも必要です。
……しかし、すべての生産活動に重税を課してはいけません。 もしすべての工業を抑制したら、たぶん多くの分野で、事態を悪化させてしまうことになるでしょう。

ひとつヒントをさしあげましょう。 あなたはたぶんフロンに思いっきり税金をかけたい、と思っているでしょう。 もし、早いうちにフロンの生産を抑制することに失敗したら、オゾン層の破壊は長期的に見て破滅的なものになるかもしれません。 しかし、フロンの生産を完全に停止させてしまうと、大気中にすでに放出されているフロンは、大きな被害を出し続けることになるでしょう。

ゲームのセーブとロード

おやおや？！ 白熱したゲームの真っ最中に、見逃せないテレビ番組が始まって、しかもビデオデッキが故障ですって？！ 安心してください。 そうした場合に備えて、プログラムには「ゲームのセーブ」メニューが用意されています。 これを選ぶと、ゲームを現在の状態でセーブ（保存）して中断することができます。 何時間でも、何日でも、何年後（？）でも、メニュー上で「ゲームのロード」を選ぶと、ちょうど中断したとことからゲームに戻ることができます。

レベル２：
様々な立場からのプレイ

何度かゲームを行って、プレイを楽しむことができるようになったら、ゲームの世界をさらに広げることもできます。 ここまでくれば、ゲームをもっと面白くする仕掛けが用意されています。 新たにゲームをスタートさせ、ゲーム・メニューから「バイアスのロード」を選んでください。 バイアス・ファイルは、必ずプレイを始める前にロードしなければなりません。 バイアス・ファイルのロードは、「Blance of the Planet」の文字の書かれたタイトル画面でしか行うことができません。

コンピュータはどのバイアス・ファイルを使いたいかを聞いてきます。 試しに「原子力推進派(PRONUKE)」のバイアス・ファイルを選んでみましょう。 「原子力推進派」のバイアスがロードされ、ゲームがスタートします。 しかし今回は基本のゲームとは少し違います。

このバイアス・ファイルでは、シミュレーションを行うための基本的なバランス配分は、他のエネルギー形態に比べて原子力の推進に重点を置いています。 このゲームでは、強力な原子力の擁護者である人物の目を通して世界を見るためです。 あなたは、彼の立場（バイアス）と信念と偏見を通して世界を見ることになります。 世界はこれまでとは違って見え、別の政治方針が要求されます。

プレイできるのは「原子力推進派」の立場だけではありません。 このプログラムには、以下に説明する四つのバイアス・ファイルが用意されています。 それぞれが世界に対する独自の視点を与えてくれます。 強調されている問題や解決方法も異なります。 それぞれのゲームで、あなたは別の人物の足で世界を歩き回らなければなりません。 環境的危機は大変に複雑な問題であり、様々な異なった角度から眺めることは、問題の大きさに対する幅広い認識を得ることになります。 各バイアスのゲームに勝つことができれば、そこからあなたの得るものは大きいものになります。

原子力推進派の立場(Pro-Nuclear Bias)

このバイアス・ファイルは、原子力擁護論者の視点を与えてくれます。 この立場に従えば、原子力は安全、クリーン、安価で、しかも原料は豊富です。 原子力は、鉱物燃料の中で選ぶべき唯一の選択肢としてとらえられます。 石炭は危険で汚く、太陽エネルギーは実現不可能です。このゲームで勝つためには、できるだけ原子力の成長を援助し、他の形のエネルギー使用を抑制しなければなりません。

バイアス・ファイルの名前は”PRONUKE”、となっています。

環境保護派の立場(Environmentalist Bias)

このバイアス・ファイルは、環境保護主義者がとると思われる世界観を提供します。ただし環境保護主義者には、アマゾンの甲虫のようにたくさんの種類が存在するので、このプログラムでは簡略にひとつのグループの考え方を想定しています。彼らはすべての工業活動を危険な汚染源と見ています。地球上の生物の保護に、最も重い価値を置いています。このゲームで勝つためには、急いで化石燃料に頼る生活を太陽エネルギー、ダム、エネルギーの再利用に切り替えなければなりません。ただし、この環境保護主義者の立場は、ややペシミスティックであり、勝つことはかなり難しいでしょう。
バイアス・ファイルの名前は"EMVRNMT"、となっています。

工業主義者の立場(Industrialist Bias)

この立場の世界観は、環境保護派のそれが悲観的であるのと逆に、楽観的です。工業主義者から見れば、環境問題はオーバーに吹聴されすぎており、世界は偉大な方向性を持っていて、人類の欲求はいつの時代でも変わらないもの、と見えます。したがって地球の温暖化、オゾン層の破壊、土壌の汚染、などのすべての不安は簡単に片付く問題で、何よりも物質の豊かさが重要視されます。この立場では何もしないことが勝利につながります。技術的な楽観主義が中心で、研究に費やす金は大きな儲けを与えてくれます。
バイアス・ファイルの名前は"INDUSTRY"、となっています。

第三世界の立場(Third World Bias)

このゲームでは、地球の北半球と南半球の格差の問題に取り組まなければなりません。すべての人の生命が同じ価値を持っていることが強調され、そのことによって得点のシステムが調整されています。ゲームは、肺疾患といったような比較的少数の北半球人にしか関わらない「マイナー」なテーマを離れ、飢餓の問題へとドラマティックに変化します。食い足りた人間だけの関心事である、自然の美観の保全のための環境保護といった問題には、あまり拘わりません。このゲームは勝つことが難しいのですが、まず飢餓の解決を最優先にしてください。
バイアス・ファイルの名前は"3RDWORLD"、となっています。

レベル３：シミュレーションの公式

「様々な異なった立場からのプレイ」を楽しんでいただけましたか？ もっと面白いことはないかですって？！ あなたは全く貪欲な好奇心をお持ちですね！ このゲームには人間を悩ませる環境問題の構造により深く踏み込む、全く新しいプレイの方法が用意されています。

公式の変更

お望みなら、原子力推進派バイアスや工業主義者バイアスのように、あなた自身のバイアス・ファイルを作ることができます。 しかしそのためには、深刻な技術的問題や倫理的な問題に直面しなければなりません。 ゲーム・メニューの「公式」を選べば、それらの問題を知ることができます。 ひとつの例を見てみましょう。

ゲームをスタートさせ「得点画面」に行ってください。 ここで「皮膚癌ポイント」を選びます。 次の画面では「皮膚癌による死亡者」を選んでください。 画面には、おなじみの「フレッドここに眠る」と書かれた墓石が映っているはずです。 ここでゲーム・メニューの中から「公式」を選んでください。 そうすれば、いままで見たことのない画面に切り替わります。

これは、シミュレーシュンに使用する公式です。 この画面は、それを説明したもので、ここでその公式を調整することができます。

二行目が公式です。 この場合、方程式は皮膚癌による死亡者数が、地上に達する紫外線の量に皮膚癌の発生率をかけたものに等しいことを表しています。

三行目の枠の中は「戻る」と書かれています。 ゲーム画面に戻りたい場合はこれを選んでください。 キーボードで<Return>キーを押すとゲーム画面に戻れます。

次は「比例定数」です。 この場合は皮膚癌の発生率を表しています。 現在の定数（10万）がスクロールバーの左に表示されています。 その下は「変数」です。 この場合「変数」は紫外線の量を表しています。 現在の値が、測定単位（watts/sq M）を付けて表示されています。
最後は方程式と、それに関する特殊な事情とを説明する文章です。

公式画面では、シミュレーションで各年度の皮膚癌の死亡者数をどうやって計算しているかを表す、簡単な公式を見ることができるのです。 便利じゃありませんか？ しかし、この公式をよく考えてみると正確ではない、とあなたは思うかもしれません。 例えば、この公式は残忍すぎると思うかもしれません。 「こらクロフォード！！ 皮膚癌で、こんなに死人がでるものか！」と言うかもしれません。 よろしい、それではご自分で公式を修正してみてください。 スクロールバーで定数の値（皮膚癌の発生率）を、あなたの正しいと思う値に変えてください。

変数ではなく定数を変更するというのは不思議に思われるかもしれませんが、これはゲームで「政策の実行」中に公式の計算がどのように行われるかを考えれば理解できるでしょう。 定数は政策の実行中は決して変化せず、公式画面で設定された値をとります。 一方、変数は他の関連する公式の実行に伴って変化します。 例えばオゾンの量が減少すれば、地表に達する紫外線の量（watts/sq M）が増えるので、変数（紫外線の量）は増大します。

公式を変更してもすぐには影響が現れません。 「政策の実行」を行って、はじめて効果が現れるのです。

多くの公式は、この皮膚癌による死亡者の公式のように簡単ですっきりした形をしています。しかし、より複雑で数学の知識を要するものもあります。 困った時は「インスタント数学講座」の説明を読んでください。

自由の限界

方程式の定数の変更には、いずれの場合も上下の限界が設けられてます。 例えば皮膚癌の発生率の値は、10,000から1,000,000の間でなければなりません。 範囲を限定するのには、二つの理由があります。 ひとつは、このゲームが現実をシミュレートしようとするものだからです。人間は紫外線が少しばかり体に当たったからといって、ハエのようにつぶれてしまうことはありませんが、紫外線に対して全く不死身というわけでもありません。 もうひとつの理由は、もし数値を極端に変えてしまうと公式が意味をなさなくなり、ゲームのバランスが崩れてしまうからです。

制限が設けられていても、シミュレーションが破綻してしまう場合もあります。
例えば、あなたはスピードのでる車を持っていて、危険なカーブや崖にはガードレールが設けられているとします。 怪我をしないと分かっていても、わざと車を乱暴に走らせて事故を起す人はいないでしょう。 同じことがこのシミュレーションでもいえます。 コンピュータはエラーが起こり、ゲームが打ち切りになったと知らせてきます。 もう少し控え目な数値を使ってやり直してください。

主観的問題：価値

公式の調整が本当に面白いのは、あなたが非常に主観的な問題に取り組もうとする時です。例えば、原子力発電所からでる放射性廃棄物はどの程度に危険なのでしょうか？ 太陽エネルギーはどれほど経済的か、石炭の使用はどれぐらい不潔か、露天掘りはどれほど有害なものなのか？ 自分自身の考えで、このゲームを仕立て直す機会はいくらでもあります。

このゲームでは人間の生命の価値を設定することさえできます。 どうするのか、見てもらいましょう。 「得点画面」に行き、そこから「皮膚癌ポイント」へ進んでください。 ゲーム・メニューで「公式」を選んで、次の方程式を見てください。

恐ろしい事になりました！ ここには、一人の人間の生命を数量化した数値があります。 神聖なる人間の生命の価値を量ろうとするのは、ほとんど異端的な考え方です。 あなたは怒るかもしれません。 しかし、この方程式から浮かび上がる問題は、我々の直面する環境問題の核心に関わるものなのです。 環境的危機とは結局、技術的問題でも経済的問題でもありません。 環境的危機の根本的原因は、我々が生きていくための価値観にあるのです。

我々は様々な物事に価値を置いています。 すてきな車、おいしい食物、快適な家、といった物質的な豊かさを尊重しています。 人間の生命を尊重し、守ろうとします。 自然を、その原始的な美や創造の無限性によって尊重しています。 問題は、我々が価値を置く物事が、現在お互いに直接ぶつかり合うようになっているということです。 もし車を運転しようと思えば、人間の生命を脅かし、自然を破壊する大気汚染を引き起こしてしまいます。 電気器具を生産するために使うフロンは、オゾン層を破壊し、それによって植物や動物や人間が死ぬことになります。

こうした問題に、白黒のはっきりしたアプローチを行うこともできます。 もし車が大気汚染を起こすなら、車を禁止すればよいのです。 すべてのフロンも禁止です。 汚染源となる原子力発電所、工場、その他すべてを操業停止にします。……しかし、こうした汚染源は、同時に社会的に有益な活動でもあるのです。 それらは、世界中の何億という人間が求める、衣・食・住に必要な物を作り出しているのです。 したがって、そんな単純すぎるアプローチでは、悪を取り除こうとして善をも失うことになりかねません。

我々はこれらの活動によって得られる利益と、それが生み出す損失とを慎重に量らなければなりません。 利益と損失とを量るやり方は、基本的に計量的な方法です。 すてきな車というのは、厳密に言ってどれだけ重要でしょうか？ 一人の人間が大気汚染によって死ぬとしたら、それは正確にはどれだけ悪いことでしょうか？ 一人の人間の価値は車1000台にあたるのでしょうか？ それとも100万台でしょうか？

社会は、こうした問題を価格のメカニズム——それぞれの活動を金銭的価値に還元し、その成果の評価は市場に委ねられる——として扱っています。……しかしこのゲームでは、あらゆる価値ある活動に対して、得点価値が設定されています。 良い事に対しても悪い事に対しても、それぞれある得点（または減点）が決められています。 私は自分が正しいと考える数値で、このゲームを設定しましたが、これは私の意見を表現するものでしかありません。 どうぞ、あなた自身の価値判断に基づいて、これを修正なさってください。

バイアスのセーブとロード

これら、全部の公式で使われている定数の集合を「バイアス・ファイル」と呼びます。 定数の集合は、世界に対する価値観、意見、評価を形作ります。 一度、これをあなたの望む形に調整したら、それをデータとしてディスクにセーブし、いつでも使えるようにすることができます。

そのためにはゲーム・メニューから「バイアスのセーブ」を選んでください。 コンピュータはセーブするバイアス・ファイルの名前を聞いてきます。 ファイルの名前は、8文字まで設定出来ます。 後でまた、ゲームを始める時にメニュー上で「バイアスのロード」を選べば、あなたの作ったバイアス・ファイルをどれでも呼び出すことができます。

もしあなたが学校の先生ならば、教育的な見地からバイアス・ファイルを設定することができ、生徒に様々なバイアスを使ってプレイさせることができます。 使い方には無限の可能性があります。

あるゲームを「ゲームのセーブ」メニューでセーブした場合、自動的にそのゲームのバイアスもセーブされます。 これは混乱のもとになるかもしれません。 例えば、あるバイアスのゲームをセーブし、それからバイアスを変え、そして初めにセーブしたゲームを呼び出したとします。 この場合、バイアスはセーブした元のゲームのものに戻ってしまいます。 こんな時は適切なバイアスをロードして、ゲームを最初からやり直してください。（訳注：途中までプレイして保存したデータを、異なるバイアスファイルと組み合わせることは出来ないということです。 ゲームの公正さのためと思われます）

このシミュレーションの精確さ

何度かのプレイで、あなたは多くのことを学んだはずです。 しかし、あなたの行った学習はどれほど信頼の置けるものなのでしょうか？ このシミュレーションが教えているものが精確かどうか、どうして分かるでしょうか？ このゲームはどこまで信用できるのでしょうか？ このゲームはシミュレーションですから、完全に現実的というわけにはいきません。 私が構成したこのシミュレーションは、細かいところでは必ずしも様々な事象の複雑さを写しとっているとはいえません。 プレイしやすく、より解りやすくしようとして、多くの要素を慎重に排除しました。

例えば、成層圏のオゾンの化学作用は大変複雑な問題です。 温度、大気への日射、それに空気中の埃や氷の結晶といった数多くの化学反応がオゾンに影響を与えます。 私は、これらの複雑さを、単純な原因と結果とに要約しました。 つまり「オゾンの量はオゾン層の破壊の最も大きな原因となるフロンの量によって決まる」ということにしました。 こうした単純化は、このシミュレーション全体に行われています。

ゲームには、私自身の意見も盛り込んであります。 これらの意見は私の価値観や偏見だけでなく、たくさんの調査・資料（「参考図書」を参照）を元にして生まれたものです。 あなたは、方程式の比例定数を調整できる（訳注：バイアスの調整）ので、私の偏見からいくらかは自由になることができます。 しかし、変えることのできないものも残されます。 それは方程式そのものです。

「放射線癌」を例にとって見てみましょう。 このシミュレーションの方程式では「放射線癌は全人口の放射線被曝量に比例する」ことになっています。 ところが、これは科学者の間で激しい論議を生んでいるところなのです。 境界仮説論者は「放射線は一定レベル以下では人体に影響を及ぼさない」と主張します。 しかし線形仮説論の支持者は「放射線被曝が極微量のものであっても、放射線は人体を傷付ける可能性がある」と主張します。 この問題は、大量の個体についての微少な作用の証明が大変難しいため、まだ解決されていません。 境界仮説論が正しいとすれば、原子力発電所が発生する低レベルの放射線は、全く被害を及ぼさないでしょう。一方、線形仮説論が正しいとすれば、原子力発電所はまちがいなく一定の数の人々を死なせていることになります。 このシミュレーションでは、政治的な偏見を抜きにして「線形仮説論者が使う線的方程式の方を、境界仮説論者が使う複雑な方程式より解りやすく扱いやすい」という理由で採用しました。

このゲームでは時間のずれを表現できません。 ゲーム中、すべての方程式は基本的に即時に適用されます。 しかし現実には多くの環境問題は、きっかけとなる事件の数年後に現れます。例えば、環境的に引き起こされた癌の多くは発病まで20年前後潜伏し続けます。 しかし、このシミュレーションでは放射線の被曝後、すぐに癌が発生することになっています。

もうひとつ不精確なのは、経済システムの中に技術的代替物がないことです。 例えば、フロンは工業に必要なものとなっています。 このゲームでは、化学者によってそれに代わる新しい

化合物が開発される可能性は用意されていません。 ある人々は科学が我々の問題をすべて解決できると考えています。 もし本当に、科学者が環境問題を吹き飛ばす強力な大砲を引っさげて来てくれるのなら、今日のような犠牲をなぜ我々は払わなけらばならないのでしょうか？ 私は、まだ存在していない技術を入れることによって、こうした意見を助長したくはありませんでした。 これはマジメなシミュレーションです。 あなたは、すでに手に入っているものしか、手に入れることはできません！ ファンタジーは許されないのです…

このゲームには、経済的な直接の代替物もありません。 現実の世界では、商品の正価が上がれば人々はそれに代わる何か別のものを求めるようになります。 それら代替物は間接的なものであることもあります。 石油の値段が上がればジェット燃料が値上がりし、したがって航空運賃も値上がりします。 ある人々は商取引に電話をもっと活用することで、それに対応するでしょう。 残念ながら、こうしたことの結果を精確に表すことは難しすぎるのです。

ようするに、どうなのでしょう？ このシミュレーションは精確なのか、それとも不精確なのか？ ゲームを解りやすく、プレイしやすく、親しみ易いものになるように務めながらも、私はできるだけ精確にこれを作りました。 このゲームが、我々の直面する環境問題に対する”あなた”の理解を助けるものであることを願っています。 もし、あなたが興味を持ち、より深い疑問を抱いたとすれば、異なった視点を得るために他の情報源もお調べになることをお勧めします。 参考図書にあげたものの幾つかをご研究ください。 より大きな世界が見えてくるはずです。

テクニカル・ノート

この章は、シミュレーションの細部まで解剖してみるのが好きな方達のためのものです。

画面上に記載されていることと、実際に行われることの間に幾つかのずれがあります。 それらは細かい事ですが、もしあなたが計算機を叩き、ノートを取り、数字を比較するようなタイプの方であれば、二つの小さな相異点に気が付いたかもしれません。 気難し屋のあなた、どうぞお読みください。

ずれのひとつは、画面の記載が1年間の率を表しているのに、1ターンが5年分であることから生じます。 例えば、出生率が2%で人口が10億である場合、次のターンに人口は10.2億人にはなりません。 出生率は1年に2%で、1ターンが5年をカバーしていることを思い出してください。 5回にわたってプラス2%の計算を繰り返すので、人口は11億強になります。 どの率も1年分で記載されており、1ターンが5年であるために、次のターンに数値がどう変わるか単純に予想することはできないのです。

もうひとつの問題は、価格と供給（蓄え）の相関関係です。 あなたはたぶん、ほとんどの商品の価格がその供給から影響を受け（原因）、影響を与えている（結果）ことに気付いたかもしれません。 これは現実の世界で、この二つが値段が上がれば供給が増大し、供給の増大がしだいに価格を下げていくという具合に、たがいに絡み合っているからです。 この問題について、解析的解法を見いだすことができないわけではないのですが、そのためにはおぞましい数学の世界に踏み込まなければなりません。 そこで、私は単純なアプローチの方法を取ることにしました。 このシミュレーションでは「公式」画面に表示した公式で計算を行いますが、1年につき同じ計算を8回繰り返すことにしました。 価格は、それ以前の価格の値と釣り合いのとれたものになります。 このことは演算を簡単にする効果があり、価格は徐々に供給と釣り合いのとれた値に近付くことになります。

デザイナーズ・ノート

私は、このゲームの数多くの創造的成果に大きな誇りを抱くと同時に、不誠実にもたくさんの事柄を切り捨てざるを得なかったことを恥ずかしく思っています。 このゲームをデザインするにあたり、私は乗り越えねばならない三つの大きな問題－－巨大で知識を要する問題の広がり、この状況に内在する「数値性」、そして立場の問題－－にぶつかりました。

最初の問題は、私を打ちのめしました。 良いゲームデザイナーは、単純化のための因子－－問題を普遍的な形式にして呈示する方法－－を探します。 私が、ゲームの「キーエレメント」と呼ぶこの因子は、プレイヤーにとって理解しやすく、かつ扱いやすいものでなければなりません。 しかし環境問題は、既存の形式にあてはめることができません。 環境問題は工業、技術、財政、法律、文化、そして感情的問題などを含んで、知的地図のあらゆる方面に渡っています。 私はキーエレメントをあきらめ、相互関係の恐るべき複雑さを提示する、ハイパーテキストシステムを用いることで問題を解決しました。 環境問題を七つのキーファクターに要約しようとするよりも、全盛をきわめる混乱をそのまま提示し、ユーザーがそれを操作しうると信じることにしました。

第二の問題は、私が「数値性(Numberiness)」と呼ぶものです。 これは、環境問題の多くが理解しにくい数字として問題化されるということです。 テレビや新聞は、カモメの死や悪臭のあるゴミの投棄を見せることを好みます。 しかし、本当の動きは問題をより突き詰めた所にあり、数値こそがそれを表現する唯一の方法であることが多いのです。 成層圏のオゾンはどれだけ残っているか？ 今年何ヘクタールの森林が破壊されたか？ 大気中の二酸化炭素の濃度はどれほどか？… こうした問題に挑んだゲームは、いずれも山のような統計資料でユーザーを圧倒します。 私は、あなたのコンピュータのスプレッドシートのように、意欲をそそるゲームを作りだそうと目論みました。

私はこの問題に対していくつかの戦略を用いました。 ひとつは、問題をアマンダ・グッディナフの描くユーモラスなグラフィックで強調することでした。 それはプレイヤーをほっとさせる、無害で栄養のある味付けです。 二つ目は、数値という最も重要な情報を目に見えるイメージとして提示するのに、棒グラフを用いたことです。 三つ目は、そのグラフの正確な値をプレイヤーが自分で確かめる必要がないように、棒グラフの上に分かりやすく文字で表示したことです。 そして四つ目は、非常に面倒な数的資料（公式）にプレイヤーが煩わされなくても良いように、プレイ画面の裏側に追いやったことです。

三番目の問題を解決した方法について、私は大きな自負を持つとともに、大きな不安も残りました。 もともと「立場の違いの問題」を抱えているこの分野で、立場の問題をどう扱ったら良いのか？ 私の解決方法－－プレイヤーが様々な立場を表現するために、数値を調整できるようにしたこと－－は、このゲームに全く新しい次元を開きました。 これによってプレイヤーがシミュレーションの舞台裏に入り込み、多くの決定的要素をコントロールできるようになりました。 これはプレイヤーの力を増大させただけでなく、プレイヤー自身の信念を厳密に吟味する機会を与えることにもなりました。 私はこれが「人間の生命の数量化から生じる道徳的ジレンマをきわだたせる」という事に特に満足しました。 これは人があまり目を向けたがらない、一筋縄ではいかない難しい問題です。 私はこのゲームで、この問題を強く提起できたことをうれしく思います。

しかし一方、ユーザーの操作によってもゲームに表現しきれない、数多くの個人的立場が存在します。 残念ながら広範にわたる環境についての立場の、どちら側からも攻撃を受けることを私は覚悟しています。 ここには方程式の形、定数の調整の限度、選択できる要素の限定などからくる偏向が存在します。 もし私が天才だったら、見識にあふれ、綿密で公平であると、どちらの側からも賞賛されるようなデザインができたかもしれません。 悲しいかな、私はそんな偉大な人物ではありません。 才能とＲＡＭ（訳注：コンピュータ内部の記憶素子で、これが大きいほど大きなプログラムが具現化できます）がもう少しあれば良かったのですが……

謝辞

このプログラムの制作には、非常にたくさんの人々が貢献してくれました。 なかでも第一にあげなければならないのは妻のキャシーです。 作家が芸術作品などを作り上げるまでの、数ケ月の間に受ける精神的な援助に対して、配偶者をほめ讃えるのはあたりまえの事かもしれません。 しかし、キャシーはより重要な役割を果たしました。 彼女は仕事のパートナー、財政係、経営者であり、すべての方面で私と決定権を分け合ってきました。 彼女は私の行った重大な意志決定の場で自分の意見を述べ、時にはそれが決定的な意見であることもありました。 この仕事を完成するまで、私たちは共に地獄の中にいました。 そして私たちの結婚生活はひとつの試練を乗り越えたように思います。

アマンダ・グッディナフは、このプログラムの制作で二番目に大きな役割を果たしました。 アマンダは制作者名簿の上では「アート・ディレクター」となっていますが、それ以上の貢献をしています。 プログラム制作の難しい初期設計の段階で、ゲームを裏打ちする概念を練り上げるために、私たちは長い時間を共に費やしました。 彼女は私のアイデアを批評し、自分自身のアイデアを提案もし、私が展開すべきデザインに形を与える手助けをしてくれました。 その上で、ゲームのほとんどのアートワークを制作し、他のアーチストの指導もしてくれたのです。

ブレンダ・ローレルは、主にユーザーインターフェースの面で制作顧問を担当しました。 彼女はデザインの完成度を高めるために非常に多くの助言を行い、また少なくともひとつの大きな失敗から私を救いました。 彼女の夫であるエリック・ハルティーンは、私をユーザーインターフェースの正道に導こうと、彼のユーザーインターフェースバイブルを振りかざして私を打ちのめしましたが、その甲斐むなしく、私はいまだ罪人のままです。 「主よ、我が大いなる罪を告白いたします！」

スーザン・リー・メロウは、とても沢山の帽子を持っていて、その芸術的な身代りの早さはある種の賞賛に値します。 彼女はデザインを批評し、ゲームのプレイテストを行い、販売企画書を書き、マニュアルの編集、デザイン、制作を行い、ボックス・コピーを書き、実務上の助言をし、このプログラムのための広報活動を行いました。 余暇にはジェット戦闘機を乗り回し、そして飢餓を撲滅し世界平和を促進する、というのが彼女の長期的な目標です。 （最後の文は私の作り話です。）

デイル・ヨーカムは、ゲームのユーザーインターフェースの問題に快く耳を傾け、鋭い分析を与えてくれました。 彼はプレイテストを行って、全体の調整や問題点の処理の手助けをしてくれました。

デイヴ・メンコーニは、専門的レベルのプレイテストを行いました。 デイヴはプレイの最も微妙な局面で、数多くの不備を発見しました。 彼がこのゲームの毛皮の中からつまみ上げた大量の小さなシラミに、あなたは決して出会うことはないでしょう。（訳注：プログラムの不備を通俗的にバグ、虫と呼びます）

インクレディブル・テクノロジー社のフィル・ガロファロは、このプログラムをオリジナルのマッキントッシュ用のものから、IBM-PC上で動くものへとコンバートする困難な工程を指揮してくれました。 最良の条件でもこれは難しい任務でしたが、私はフィルの仕事中にもプログ

ラムを変更して、困難を倍にしてしまいました。 デイル・カークマン・Jr.とジム・ヴァイツもこの驚異的な難事業に貢献してくれました。

アートワークについてピーター&ケイトリン・ミッチェル・デイトン、ジェイミー・スティーブンズ、ディーナ・トーマスに、地球の映像についてＮＡＳＡに、色使いの豊富なアイデアについてクリフ・ジョンソンに、荘厳なボックス・アートについてエド・キャッセルに、そしてボックス・デザインについてイクイリブリアム社のシーン・バーガーにそれぞれ感謝いたします。

最後に、プレイテストを行い、ゲームをより豊かなものにする助言を与えてくれた、たくさんの人々ーーエリック・ゴールドバーグ、ヘザー・ブライドン、グレッグ・ウイリアムズ、スティーヴ・アクセルロッド、キャロル・バルコム、マリリン・ローザンブラム、フィリップ・リヴングッドーーに感謝します。

インスタント数学講座

あなたは、このゲームの数学的な要素にとまどいを感じたでしょうか？ ここでは、ゲーム中に使用されている様々な数学的な表現等を御説明しましょう。

変な数字（例、「3.65e-5」）

これは科学の表記法のひとつです。 このやり方は、どんな数でもコンパクトに表すうまい方法です。 例に挙げた数は「3.65かける10の-5乗」と読みます。 これは0.0000365と同じです。つまり3.65の前に、小数点以下四つのゼロがつくことになります。 3.65e8は365,000,000となります。 ゼロの数を意味しているのではなく、どこに小数点が来るか、ということなのです。

なぜこんなおかしな書き方を押し付けるのかって？ ひとつには、たくさんのゼロをすべて書くのが見にくいからです。 もうひとつは、コンピュータのプログラムですべての数値の処理を行うからです。 こうしないと4.19e-27のような数を書くとき、「419」までに左にゼロを26個も表示しなければならなくなります。 そうなると画面の枠を飛び出して、あなたの机にまで書くことになります。 そういう書き方は画面の有効な使い方とはいえません。 それで、この表記を使うことになったのです。 気楽に考えてください。 今度上司に昇給を申し出るときは、たったの1e5ドル欲しいのだと言いなさい。 オーケーしてくれるかもしれませんよ。（訳注：これはなんと100,000ドルにもなります）

Log（対数）

これはLogarism（対数）の略です。 「対数」はひどく難しいものに思われるかもしれませんが、このシミュレーションで対数を使っている理屈を、すべて理解する必要はありません。知っておけばいいのは次のことだけです。 対数は大きな数を扱って、それを非常に小さな数に押し縮めたものです。 例えば10の対数は1です。 100の対数は2です。 1000の対数は3です。1,000,000の対数は6です。 私は、危険な数値をコントロールするために、対数を使います。例えば、私が天井を打ち抜いて爆発する可能性のある「数」を持っているとします。 そいつは始めは2.4ですが10億までも爆発的に膨れあがります。 その数に対数を背負わせるのは、鼻と足に頑丈なゴムバンドを巻き付けておくようなものです。 もしそいつが伸び上がろうとすると、ゴムバンドが引き戻します。 大きくなることはできますが、急激にはできなくなるのです。

Sqrt（平方根）

これはSquare root（平方根）の略です。 平方根は対数ほど強力ではありませんが、やはり数を縮める働きをします。 例えば10の平方根は31.6です。 1,000,000の平方根は1000です。私は暴れん坊の数にSqrtを使うことにしています。 これはややゆるいゴムバンドです。

Sqik

これは、ひざに抱えた時に、アヒルがたてる鳴き声です。

変数

変数とは、方程式の中でほぼどんな値でもとりうる数のことです。 例えば、こんな簡単な状況を考えてみましょう。 あなたは1日2ポンドの減量が保証された「驚異のダイエット」を行っているものとします。 するとあなたの体重の減り方は次のような式で表されます。

減量の合計＝（1日に2ポンド）×ダイエットを行う日数

この式では「ダイエットを行う日数」が変数になります。 変数はどんな値でもとりうるし、式も間違っていはいないでしょう。 もし1日ダイエットをやれば、体重が2ポンド減ります。ダイエットを2日やれば4ポンド減ります。 10日間ダイエットをすれば、20ポンド減ります。「ダイエットを行う日数」にどんな数字を当てはめても式は有効です。 つまり「ダイエットを行う日数」は変数なのです。 ゲームの公式にどんな数字を当てはめたとしても、公式は有効なのです。

定数

定数とは変化しない数のことです。 これは、変化することのできる変数とは対照的です。定数は常に同じ値をとります。 それでは、なんでこのゲームでは定数を変更することができるのでしょうか？ これじゃ変数になってしまうんじゃないかって？ そうではありません。 私はプレイヤーがゲームを始める前に、定数を一度だけ設定して、ゲーム中はそれを変更しないで使ってもらいたいのです。 もしゲームの進行中にどうしてもこれを変更したいのでしたら、私は止めたりはしません。 しかし結果は間違いなくおかしなものになるでしょう。

用語集

Exajoule (エクサジュール)
エクサジュールとは、10^18 (100京) ジュールのことです。 つまり大変大きなジュールです。ジュールって何ですかって？ ジュールとは、メートル法のエネルギーの単位です。 これは有名な科学者ジョー・ジュールによって作られました。 専門的に言えば、1ジュールとは物質に1ニュートンの力を加えて、1メートル動かした時の仕事の総量となります。 例えば、こういうことです。 あなたが階段の一段分あなたの体を持ち上げたら、約100ジュールのエネルギー量を使ったことになります。 フロッピー・ディスクを頭の上の棚に上げれば、これは約1ジュールの仕事量になります。 つまり1エクサジュールは、あなたが1千兆段の階段を昇るぐらいのエネルギー量で、あなたが自分の体を社長室に運んで行くエネルギーと同じぐらいです。 1エクサジュールのエネルギー量で、約100京枚のフロッピー・ディスクを、机の上の本棚に入れることができますが、すばやく本棚の戸を閉めないと全部崩れてくるのでご注意ください。

Goodies (グッディーズ)
これは、消費者財を計る私のオリジナルの単位です。 これは独断的な単位です。 これは私がでっち上げたものです。 いけなかったでしょうか？ いいえ、ただこれが現実世界の他のどんな単位にも、置き換えることができないというだけなのです。 この単位は各年の消費者財を互いに比べる時にだけ使います。

Happies (ハッピーズ)
これは、人々がどれだけ幸福かを表す、私の全くのオリジナルの単位です。 これは「北の暮らし」「南の暮らし」「生活の豊かさ」の画面で使っています。 Goodiesと同じようにこれは私の作った独断的な単位です。 ただそれだけの事です。

Hectare (ヘクタール)
これはエーカーのメートル法版です。 1エーカーはもちろん一辺が160ロッドの正方形の土地の面積です。 ロッドをご存じない？ よろしい、それではこう説明しましょう。 1エーカーは4840平方ヤードです。 または43560平方フィートです。 まだわからない？ これではどうですか。 1平方マイルは640エーカーです。 つまり1ヘクタールは約2.5エーカーになります。 1ヘクタールとは一辺100メートルの正方形で囲まれた土地の面積のことです。 1ヘクタールは1万平方メートルになります。 面積を数えるってのは、全く大変ですね。

person-rem (=p-rem。 パーソンレム)
これは何らかの事業から、一定人口が受ける放射線の総量を表す単位です。 1パーソンレムは、一人あたり1レムを受ける放射線量に相当します。 それではレムとは何でしょう？ これはRad Equivalent in Man (線量当量) の頭文字で、RadはRadiation Absorbed Dose (吸収線量) の頭文字です。 1Radは放射線イオンが細胞組織1kgに0.01ジュールのエネルギーを与えることに相当します。

Riparian (水辺の生物)
水域やその岸辺に属する動植物のことです。

単位一覧

このシミュレーションに使われている単位には三つの種類があります。 一般的な量を表す単位、個数を表す単位、それにこのゲームの中でしか使われないオリジナルの単位です。 オリジナルな単位は、一般的な量や個数で表すことのできないものを量として捕らえ、比較するために作られたものです。 これは重さや人数を表してはいませんが、おおまかに現実の量や度合いに対応します。

一般的な量

$	ドル
m2	平方メートル
%	パーセント
point	点（得点または減点）
/cap	一人あたり
p-rem	パーソンレム（被曝量）
degrees	度（温度）
sqm	m2に同じ
exajoule	エクサジュール（エネルギー）
ton	トン
hectare	ヘクタール（面積）
watt	ワット（光量）
meters	メートル（長さ）

個数

death	人（死者）
species	種（生物の種類）
people	人（人口）
strain	種（穀物の種類）

オリジナルの単位

accidents	事故（原子力事故の量）
dwellings	住宅
goodies	贅沢品（衣食住以外の、物やサービスなどの消費者財の量）
happies	幸福（物質的な豊かさ）
ouchies	湖の酸度（技術的理由でペーハーの代わりに使う。 直訳すれば「痛い！」）
permanence	安定（地球の持続可能性）
pills	薬品
stuff	物（工業原料や工業生産の量）
whizbangs	技術（技術の発達度。 直訳すれば「すばらしいもの」）

参考図書

（邦訳のあるものは邦訳題名を記載。 出版年は原書のもの。）

・「The Global 2000 to the President」 New York, Penguin Books, 1982
　資源と環境問題に関する、この巨大で精密な計画を委任したのは、カーター大統領である。これが完成された時、レーガン大統領は黙殺した。 事実と数字が何でも揃っている。

・「別冊サイエンス ９６：地球環境を守る」 サイエンス編集部編、1989
　このゲームに出てくる問題の多くをカバーしているので、この雑誌をあげる。 環境問題に対する、より技術的な取り組みについて知ることができる。

・Beckman, Petr. 「Health Hazards of Not Going Nuclear」 Boulder, CO: Golem Press, 1976.
　つむじ曲がりで皮肉で、全く陽気な原子力の擁護論。 ベックマンの反核論者に対する皮肉は非常に的を得たもの。 ときどきレトリックに溺れるきらいはあるが、偏見を持たぬ者には読んで面白く、あなたの原子力論争に対する見方を変えるかもしれない本。

・レスター・ブラウン他 「ワールド・ウォッチ地球白書'90-'91」 松下和夫訳、ダイヤモンド社
　人類の直面する大問題をテーマ別に整理。 それぞれの問題についての記述は充実している。同グループは、徹底的な調査に基づく環境問題についてのパンフレットのシリーズを出している。 これらも本書同様推薦する。

・Ｅ・ゴールドスミス編 「地球環境用語辞典」 不破敬一郎・小野幹雄監修、東京書籍、1988
　環境問題に対する、左翼のひとつの見解。 やや大げさで心配性な見方だが、有益な報告も含まれている。

・ジョン・グリビン 「オゾン層が消えた」 加藤珪訳、地人書館、1988
　オゾン層破壊についての論文。 やや暴露的な書き方で、素人にも分かり易い。

・エイモリー・ラヴィンズ 「ソフト・エネルギー・パス」 槌屋治紀訳、時事通信社 1977
　我々の持つエネルギー資源の利用法に、根本的な疑問を提起する優れて理論的な本。 エネルギー政策問題に深い興味を持つ者にとって必読書。 ただしラヴィンズは数字をもてあそぶところがあり、この誤りは彼の政治綱領にもおよんでいるように見える。

・Dr.ノーマン・メイヤー 「地球ウォッチング」 西川治監修、平凡社、1984
　すばらしい本！ 大型の絵本のように見えるが、確実な情報と、たいくつなものになりがちなテーマをみごとに表現した、数多くの多色刷りの表、図、イラストレーションからなる。 意見のいくつか（例えば、中国の農業システムの労働集約に対する賞賛）は私には左寄り過ぎると思われるが、それらは例外的である。 本一冊で環境問題の概観を得たい方には、これを勧める。

・Thompson, William Irwin 「Gaia, A Way of Knowing」 San Francisco: LIndisrarne press, 1987
　環境問題に哲学的なアプローチを行った不思議な本。 反文明的な姿勢で書かれている。

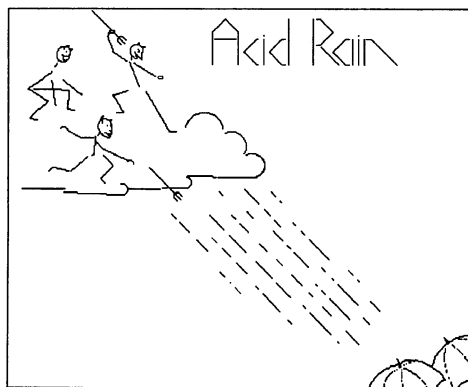
・World Commission on Enivironment and Development 「Our Common Future」 New York: Oxford University Press, 1987
　ブルントランド・レポートとしても知られるこの本は、地球の直面する環境問題全体を検討する。 偏りのない論調で、情況の深刻さへの注目を呼び掛けている。

項目別解説

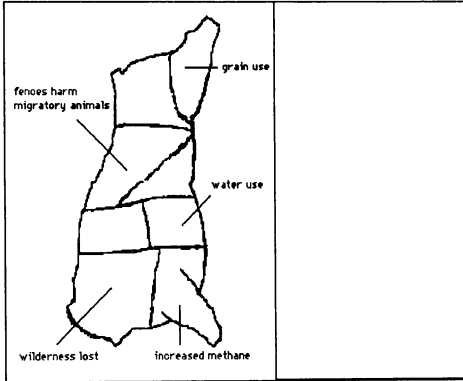
この項ではシミュレーションに登場する記事に、より詳しい解説を行います。 記事の多くは同名のタイトルで解説を行っていますが、グループとして扱っているものもあります。 また少数ですが、解説を加えなかったものもあります。
以下はグループとしてまとめて扱った記事のリストです。 各記事については右の項目をお読みください。

プログラム上の記述	**解説項目**
海の生物ポイント	生物ポイント
家族計画補助金($)	補助金
飢餓ポイント	死亡ポイント
基礎的研究補助金($)	補助金
牛肉税(Tax)	税
原子力研究補助金($)	補助金
原子力税(Tax)	税
原子力の価格	価格
原子力の使用総量	資源の使用総量
持続能力ポイント	生物ポイント
重金属税(Tax)	税
重金属の価格	価格
重金属の使用総量	資源の使用総量
重金属ポイント	死亡ポイント
浸水ポイント	死亡ポイント
森林の生物ポイント	生物ポイント
生活の豊かさポイント	生物ポイント
生物工学研究補助金($)	補助金
生物の多様性ポイント	生物ポイント
石炭研究補助金($)	補助金
石炭税(Tax)	税
石炭の価格	価格
石炭の使用総量	資源の使用総量
石油研究補助金($)	補助金
石油税(Tax)	税
石油の価格	価格
石油の使用総量	資源の使用総量
太陽エネルギー補助金($)	補助金
太陽エネルギー研究補助金($)	補助金
太陽エネルギーの価格	価格

プログラム上の記述	解説項目
ダム補助金($)	補助金
ダム価格	価格
天然ガス税(Tax)	税
天然ガスの価格	価格
天然ガスの使用総量	資源の使用総量
転落ポイント	死亡ポイント
土地乱用ポイント	死亡ポイント
農薬税(Tax)	税
農薬ポイント	死亡ポイント
肺病ポイント	死亡ポイント
伐採税(Tax)	税
皮膚癌ポイント	死亡ポイント
肥料税(Tax)	税
フロン税(Tax)	税
平均エネルギー価格	価格
放射性廃棄物ポイント	死亡ポイント
放射線ポイント	死亡ポイント
薪ストーブ補助金($)	補助金
湖の生物ポイント	生物ポイント
リサイクルセンター補助金($)	補助金

酸性雨
Acid Rain

酸性雨の原因は化石燃料の燃焼である。
石炭の燃焼の大部分は火力発電所と製鉄工場で行われる。 しかし、自動車の使用も同じほど酸性雨の原因となっている。 化石燃料の燃焼から出る二酸化窒素や二酸化硫黄は、空気中の水蒸気に混じり、雨、露、雪が硝酸、硫酸を含んで地上に降りる。
酸性雨は実体を捕らえにくいだけに危険である。 酸性雨の被害は急激には起きない。 石油の流出や原子力発電所の事故のような、突然のドラマチックな大災害を起こすわけでもない。 テレビ報道向きに切り裂かれた体や瀕死の生物を見せてくれるわけでもない。 しかし酸性雨は毎日降っているのだ。 その影響は微弱で、数年間を経なければ重大な結果に到達しない。 また、汚染物質は汚染源から100～1000マイルに渡って拡散する。 しかし、その結果はまさに悲惨なものである。
酸性雨は魚を殺し、湖沼や川を完全に汚染して、いかなる生物をも死滅させる。 酸性雨は森林を破壊する。 酸は樹木の葉を傷める。 酸性雨は、土中のバクテリアがより多くのメタンガスを発生させる原因となり、メタンガスは温室効果の原因となる。ドイツではすでに多くの森林が酸性雨に侵されている。 酸性雨は資産にもダメージを与える。 酸は車や建物の塗装を剥がし、橋や道などの戸外の金属構造物を腐食し、石や石造建築を侵食する。 累積被害は年間100億ドルと見積もられる。
おそらく今後我々は、酸性雨がさらに猛威をふるう場面を見ることになるだろう。

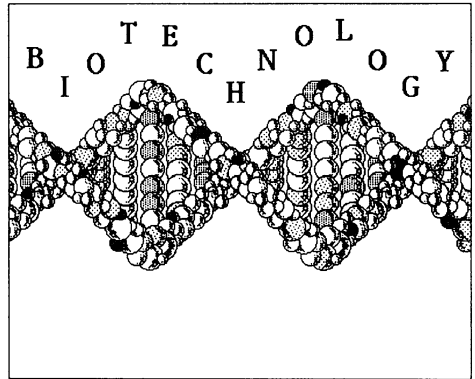
牛肉の生産

Beef Production

元来、牛肉の生産は全く良質の行為だった。 人間は牛によって、他の方法では使用できない土地に農業を拡大した。 牛は消化しにくい低級な繊維素を高級なタンパク質にする、非常に有益な変換機のように見える。 しかし現代の生産活動はバランスを変えてしまった。 西暦1600年には人間は1年に約4万トンの牛肉を食べていたが、今日我々の消費量は1年に1億トンに跳ね上がっている。 もはや牛を単に牧場に離しておくだけでは、この大量の生産を行うことはできない。 牛は穀物で養われているのだ。 これによって牛は早く肥えるようになり、牛肉の味も良くなった。 しかし、飢餓と戦うために使うことのできる穀物を使っているのだ。 合衆国では、穀物の90%は人間ではなく家畜を養うために使われている。

世界的に見れば情況はこれほど悪くない。 家畜に食べさせるのは、地球の穀物生産の40%だけだ。 それでもこれは恐ろしい浪費である。 牛を使って穀物を牛肉に転換すれば、1カロリーの牛肉を作るのに10カロリーの穀物がいるので、穀物のカロリーの約90%を失っているのだ。 つまり、牛肉の生産は実質的に食物の破壊である。 毎年4千万人の人々が飢餓で死んでゆくのに、牛肉生産のこの贅沢さは不当なものに思える。

牛は大量の水を必要とし、乾燥した地域の限られた水の蓄えを浪費する。 牛の侵入によって生態系は破壊される。 野性の草食動物は追放され、それを食べる肉食動物は除去される。 ラテンアメリカの養牛業者は自分の群の放牧地を作るために、貴重な雨林を数百万ヘクタールも燃やしている。 また、牛は若芽を食べてしまうので、密度の低い森林は樹木を失い、何年間も完全に裸の状態になってしまう。

生物工学

Biotechnology

過去10年間に開発された遺伝子組み替え技術は、様々な種類の技術に急激な発展の可能性を与えた。 我々は技術というものをシリコンや鉄鋼の側面から考えがちだが、生命機能の利用やそれが生み出すものは、どの点から見ても非生物工学的技術と同じほど重要である。

最も目立った応用分野は農業科学である。 研究者は、特別な利益をもたらす穀物種を開発しようとしている。 例えば塩性の水の潅漑でも育つ穀物の研究が続けられている。 これによって、世界中の真水のほとんどない地域でも穀物を育てることが可能になるだろう。 多くの第三世界の国々で見られる特殊な農業環境により良く適合する、特殊な穀物を開発しようとしている研究者もいる。 しかし生物工学は他の多くの方面に応用できる。 ある会社は石油を消化する特殊な細菌を開発した。 この生物は、流出した石油の処理のために使うのが目的である。 もちろん、この虫が我々の石油源の中に逃げ出さないと保証することはできないが！ そして、生物工学の様々な医学的応用がある。 その中で最も喜ばしいのは、癌との戦いで利用できる複雑な分子、インターフェロンの大量生産のための生物工学技術の開発である。

生物工学は単純な生物学的応用を越えて、より広い応用分野にその領域を拡大している。 それはインクの生産、靴、塗料といった異分野で成果を上げている。

出生率

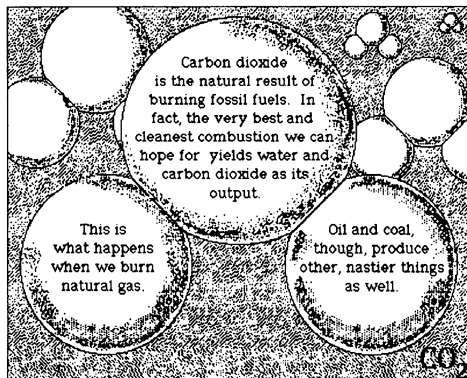
Birth Rate

この項目は実際は、出生率と死亡率を扱うものである。二者の差が人口の増加率で、現在それは爆発的なものになっている。我々は過去百年間に、死との闘争において飛躍的な進歩を遂げた。天然痘、マラリア、コレラ、腺ペストは公衆衛生の改善、伝染病を運ぶ虫に対する農薬の使用、抗生物質などの薬物の発達によって一掃された。その結果、人類の寿命は著しく延びた。1900年には幼児期を生き延びた平均的ドイツ人の寿命は45歳までだったが、現在その平均寿命は75歳までになっている。第三世界の国々の多くは、平均寿命が60歳である。

幼児の死亡率の低下はさらに飛躍的に見える。1700年代、ほとんどのヨーロッパの国では30%の幼児が最初の誕生日を迎える前に死んでいた。今日ではその数は1%に満たない。第三世界ではその数は10%である。しかし、多くの文化は幼児の死の対抗策として、いまだに多産を尊んでいる。死亡率は激減したのに、出生率はまだ非常に大きい。その結果、人口増加は莫大なものになっている。増加率がたった3%でも人口は24年間で2倍になる。そして社会はこれほどの増加を支え切れるほど簡単には進歩できない。

出生率は、生活水準が高いほど少なくなる。人口の専門家は、生活水準の向上により地球の人口は100億人で安定すると見ている。しかしこのことは、人口の増加に先んじて世界的な生活水準の向上を、我々が達成しうるかどうかにかかっている。

二酸化炭素

Carbon Dioxide

二酸化炭素は2個の酸素原子が1個の炭素原子と結び付いた、単純な化合物である。 生物学的に重要なことは次の三点である。 1)二酸化炭素は炭化水素を酸化する様々な生化学反応の産物である。 2)二酸化炭素は炭化水素を作る、生化学反応の原料である。 3)二酸化炭素は温室効果の原因となる。

多くの有機分子の基本的な成分は、炭化水素と呼ばれる、炭素、水素、酸素である。 炭化水素を酸化させる時、通常エネルギーと水と二酸化炭素が発生する。 動物は炭化水素を酸化し、二酸化炭素を吐き出す。 植物はこのプロセスの逆を行う。 植物は太陽のエネルギー、土中の水、空気中の二酸化炭素を得て、それを複雑な炭化水素に転化する。 つまり、植物と動物は二酸化炭素を介して、共生的関係を持っているのだ。 しかし二酸化炭素は、地球の温暖化の重要な要因ともなっている。 赤外線は、二酸化炭素分子と同じ振動数の振動を引き起こす。 赤外線が二酸化炭素分子のそばを通ると、二酸化炭素分子は共鳴して振動を始め、赤外線のエネルギーを吸収する。 しばらくして二酸化炭素分子は疲れて振動をやめ、もとの赤外線と同じ新しい赤外線をエネルギーとして吐き出す。 しかし、元の赤外線と新しい赤外線の間には重大な違いがある。 元の赤外線は地球から外に向かって反射されてきたものでも、新しい赤外線はランダムに放射されるため、半分が地球に戻って行く可能性がある。 もしそうなれば、地球にその熱エネルギーが加えられ、地球はほんの僅かだが暖められることになる。

フロンの生産

CFC Production

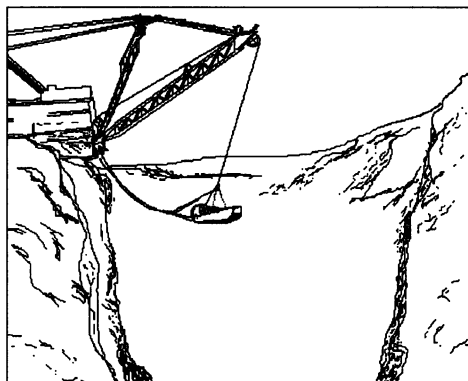
塩素とフッ素（最も不安定な二つの元素）を炭素に結合すると、クロロフルオロカーボン（フロン[ＣＦＣ]）という、知られる限り最も安定した化合物が得られる。フロンにはさまざまな種類があるが、一般に生産されているのはそのうちの二種、CCl_3F（F11として知られる）とCCl_2F_2（F12として知られる）である。

フロン自身は燃焼せず、他の物質を燃えにくくする。いかなるものも腐食せず、それ自身も腐食されないし、毒性も発癌性もない。結晶せず、塩化せず、水に溶けず、酸化せず、不変である。フロンは極めて安定的な物質である。

こんな何もしない科学物質に何ができるというのか？極めて多くのことができる。フロンは空調設備や冷蔵庫の強力な冷却剤（冷媒と呼びます）となる。熱や冷気にも耐え、何年間も分解せず、デリケートなパイプも腐食しない。もし漏れ出ても毒性はなく、引火せず、他の物質を破壊しない。単に蒸発して吹き飛ばされるだけである。

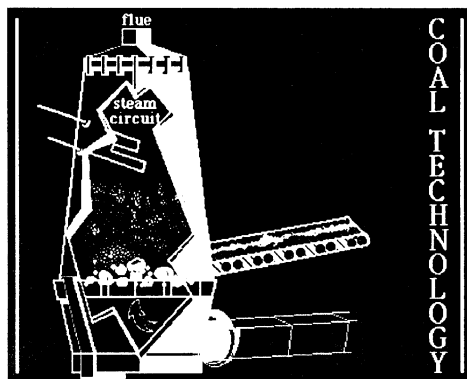
発泡スチロールのコップを見てみよう。プラスチックの実質は非常に少なく、ほとんどは泡でできている。これは1個のコップを作るのに、ごく少量のプラスチックしか必要としないということだ。しかし泡の中身はなんだろう？予想に反してそれは空気ではない。フロンなのだ。なぜか？工場では泡を作るために、プラスチックを溶かさなければならず、プラスチックは高温では燃えやすいため、熱を加える時に酸素を避けなければならない。そのため暖められたプラスチックと反応しないフロンが、発泡剤として使われる。フロンはプリント基板のグリースやオイル落としにも使われるが、繊細なハンダ線やチップを損なわず、滓も残さない。

石炭の蓄え

Coal Supply

数百万年前、北アメリカは熱帯雨林に覆われていた。 植物は枯れると倒れて積み重なり、長い年月をかけて厚い層を作った。 地質学的作用によって、この層は別の堆積物に覆われた。
上を覆った地層の重みでこの有機物は潰され、圧縮され、凝固して、新しい黒い燃える石——石炭——になった。 石炭は、数インチから数百フィートの厚みの、連なった層として発見される。 これらの層は数10マイルから数100マイルに渡って広がっている。

石炭の採掘には三つの方法がある。 地下採炭、露天掘り、掘削きり採炭の三つである。 地下採炭は深い立て坑を掘り、石炭層に横坑を掘らなければならない。 これは不潔で危険な仕事である。 石炭層は崩れやすく、噴き出たガスに火がつけば坑内は地獄と化す。 また坑夫が炭塵を長年吸い続けると、不具になったり、死にいたる呼吸器疾患「鉱山病」の原因となる。 露天掘りはより安全だが、これは「露天掘り」の項で論ずる。 掘削きり法は、大きな掘削きり（スクリューまたはドリルのようなもの）を用いて、露出した層に横向きに切り込む。 丘の小さな層で石炭を取るのに効果的な方法である。

アメリカ東部で採れる石炭の多くは、硫黄の含有率が高い。 これを燃やすと二酸化硫黄が発生し、大気汚染や酸性雨の大きな原因となる。 合衆国西部で採れる石炭は、硫黄の含有率の低いことが長所だが、露天掘りのため別の一連の問題を引き起こす。 皮肉だが、世界の石炭の埋蔵量はあと数百年も使えるほどある。 アメリカだけで石炭の量は中東の石油の量より多い。
しかし石炭の有効性は、採掘と燃焼の影響とを対照して考慮されなければならない。

石炭技術
Coal Technology

石炭は豊富なため、環境を害しない石炭の使用法にかなりの研究努力が向けられている。 こうした努力の多くは、石炭をクリーンに燃焼させることに的を絞っている。 しかし一方では、まず採掘せずに石炭の可能性を開発する賢いやり方が考えられている。

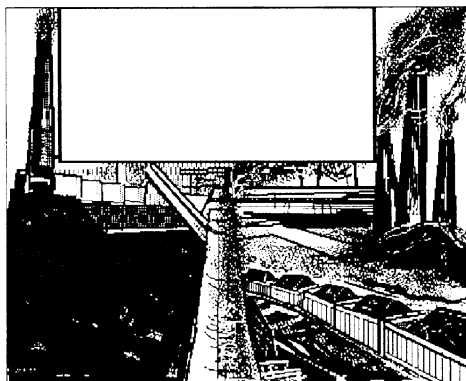
流動燃焼炉は石灰石のチップに石炭を混ぜた床を持つ高炉である。 空気の流れが床の下から吹き上げ、石灰石と石炭を押し上げて分離し、堆積した固まりを流動体にして撹拌する。 石炭は急速に燃焼して、硫黄その他の汚染物質は石灰石に吸収される。 小規模の実験装置ではうまく行っているが、大型の炉を動かすにはさらに研究が必要である。

石炭気化法では、石炭を天然ガス（メタン）が発生するまで熱しなければならない。 そうして古い石炭の形を捨て、クリーンな燃料であるメタンとして使おうとするものだ。 このガスは通常の天然ガスよりエネルギー価が低く、生産コストも高い。 しかも、いくらかの汚染物質を含む。 クリーンでしかも採算のとれるガスを作るには、さらに研究が必要だ。

現場気化法は、石炭を地下深くに置かれたままで処理するものである。 石炭層に穴を通し熱した酸素や水素を吹き込めば、近くのドリル穴からメタンが取り出せるというものだ。 採掘の問題と大気汚染は取り除かれ、一方深すぎて掘りにくい石炭層が開発できる。 この分野の研究は20年に渡って行われている。

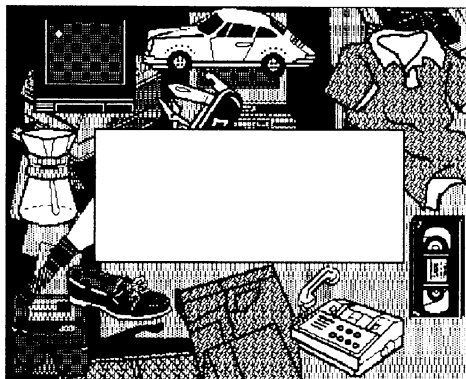
もうひとつの興味深い研究は石炭の液化である。 石炭を化学的に他の形態――多くは代用ガソリン――に変換する。 そして燃焼する前に「石炭精練」により汚染物質を取り除く。 基本的な化学作用は以前から知られているが、その方法にはまだ金がかかりすぎる。

石炭の使用

Coal Use

石炭は半分以上が発電に使われている。

石炭は鉄道で運ばれ戸外にうずたかく積み上げられる。 ベルトコンベアで発電所内に運び込まれ、巨大なローラーで砕かれ、直接炉の上から投げ込まれる。 炉はボイラーの水を暖め、水蒸気にしてパイプを通してタービンに送る。 水蒸気はタービンを回転させ、それに接続する発電機が回転する。 火力発電所で使用された水蒸気は冷却して水に戻し、再び使えるようにしなければならない。 冷却のひとつの方法は河、湖、あるいは海の冷水を使うことである。 しかし、この冷却に使われた水は僅かに暖められ、環境を害する恐れのある「熱汚染」を引き起こす。 もうひとつの方法は、双曲線冷却塔と呼ばれる、よく原子力発電所に付属している太い砂時計型の「煙突」で冷やされた水を使うものである。 これは技術的に優れて洗練されたものだ。この冷却塔は可動部分を持たず、形や大きさは完成されており、水蒸気の熱によって水蒸気を凝固させ、1000メガワットの過熱を取り除く強力な風を起こすものである。 これらの塔はおそらく発電所の中でも、最も環境に優しい設備だろう。

1基の石炭火力発電所は年間2500万トンの石炭を燃やすが、燃焼された物の多くが煙突から外に出ていく。 排煙に含まれるのは、灰（煤の微粒子で、風下のあらゆる物の上に降る）、二酸化炭素、二酸化硫黄、二酸化窒素、炭化水素など、すべて汚染物質である。 これらの物質のいくらかは、静電気沈澱器や洗浄装置で濾過することができる。 しかし現在のところ、二酸化炭素を捕らえる技術は存在しない。

贅沢品
Consumer Goods

このシミュレーションで言う「贅沢品」とは、工場で作られる、生存や成長に必要ではないが非常に欲しくなる商品のことである。この問題について我々はしばしば間違った見方をしてしまう。ある人々は、他の人々が環境を破壊しながら贅沢をしていることを怒る。例えば燃費を食い、より多くの汚染を発生する大型車は本当に必要だろうか？私は小型車に乗って満足しているので、大型車に乗る人々を理解するのは難しい。一方、私は田舎に住むことを選んだので、町に出かけるのに長く車に乗っており、都会に住むよりも多くのガソリンを消費する。私の価値観は大型車の持ち主より「正しい」だろうか？

生活には、単に衣食住を確保する以上の物が必要だ。幸福の追求は正当な行為である。問題が起こるのは、ある人間が他の人間の幸福を犠牲にして贅沢を得る場合だ。ある人が自分の車にテレビを乗せるのに、ガソリンを1ガロン余計に消費し、そのために他の誰かがガソリンを手に入れることができないとしたら、これは正当なことだろうか？

今日、我々はすでに社会的報酬を人の嗜好に従って分配する公平な方法として、価格のメカニズムを確立している。もし、ある愚か者が自分の車にテレビを乗せてガソリンを無駄遣いするために代価を支払ったとしても、それは個人の自由である。しかし価格のメカニズムは、昔ながらの貧富の問題や、隠れたコストの問題や、市場におけるまだ生まれてこない世代の存在を背負っている（この問題についての詳しい議論は「価格」の項を参照）。

穀物の品種

Crop Strains

人類の持つ最も重要な伝承遺産は、農民が使う種株である。 我々がそれを食べて生きている穀物——小麦、米、トウモロコシ——は、歴史の黎明期に初めて栽培された時には、極めて粒が小さく成長期間が長かった。 千年以上に渡って、我々はゆっくりとその生産を高めてきた。しかし生産高が劇的に上昇したのは、最近の50年間のことである。

1940年代、ロックフェラー財団はメキシコとフィリピンに、小麦と米の品種改良の発達に務めるための研究所を設置した。 1960年代の始めに、この二つの穀物の生産性の高い品種が使えるようになり、世界中の農民がそれを植え始めた。 その結果、生産高は急激に上がり、人口爆発によって生じる大量の飢餓の恐れは回避された。 小麦と米という、最も広く栽培されている二つの穀物によって得られた成果だった。 その他のカサバ、ジャガイモ、ササゲといった、それほど一般的でない穀物は、最初は軽視された。 それらの多くは第三世界の自給農家によって栽培されており、現在のところ学術研究の興味の対象にとどまっている。

今後の研究によって、第三世界の気候に合った穀物品種、特に第三世界の農民が買うことのできない、高価な肥料や、農薬を必要としない品種が生み出されることが期待される。 人類は食用の植物種を約7000種も開発してきた。 感動的に聞こえるかもしれないが、これは利用できる種のほんの一部にすぎない。 実際、新しく発見される品種の中には、一般的な品種より明らかに優れたものがある。 革命的な新しい品種の開発が、世界の穀物生産高を劇的に増大させるかもしれない。

穀物生産技術

Crop Technology

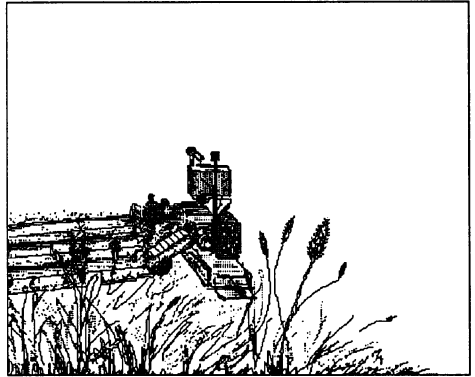
この項では「緑の革命」について述べる。 この革命は合衆国ではほとんど注目されていないが、人類に対する影響は20世紀の最も重要な進歩を生み出した。 今世紀のすべての戦争で失われた生命を越える数の生命を、緑の革命はすでに救っている。

基本的に、緑の革命とは第三世界における近代農法の適用である。 その方法——穀物の品種改良と農薬と肥料の使用——は、第三世界の古い農業風習に根本的な変化をもたらした。 その結果はまさに革命的であった。 西側世界で、医学が幼児の死亡率を減少させ、人口の爆発を引き起こしたのと同じ時期に、農業技術が発達して新しい数10億の口を養うだけの食物を生産できるようになった。

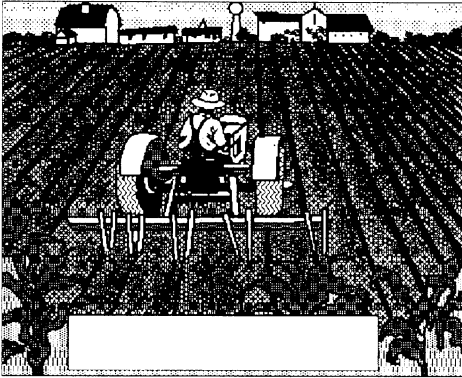
さまざまな改革によって喜ばしくない影響も現れた。 安定した文化が混乱に陥ったのだ。例えば西側の農業のやり方は、農民が商品作物を育てて儲けた金を、最新流行の農業技術を買うために支払うものだとする。 このやり方は地方（非現金）市場のためだけに穀物を育てている、より小規模の農民を圧迫する。 ケニヤでは、商品としてのコーヒー栽培が成功したために、かつては自給自足できたこの国に食糧不足が広がってきている。 さらに悪いことに、緑の革命は食物を育てるのに必要な労働力を減少させ、無学の農業労働者の大量失業をもたらし、社会的緊張と政情不安を生み出した。

結局こうした問題は変革の結果である。 我々西側諸国は、第三世界を暗黒時代から救い出したというよりは、険しい20世紀の道に投げ込んでしまったのだ。 この危険な過渡期に、第三世界を援助するために、我々はまだ大きな努力を払わなければならない。 今後我々に——あるいは彼らに——どんな道が残されているのだろうか？

穀物の生産率

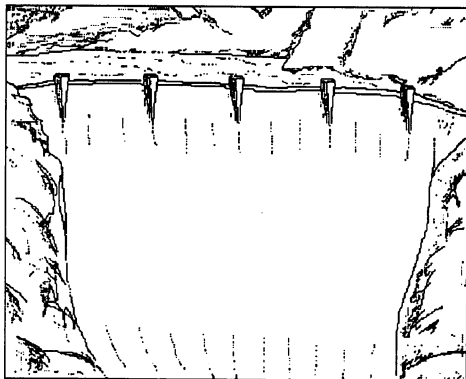
Crop Yields

穀物の生産率は農業の収穫を計る重要な物差しである。 耕すことのできる土地の面積はほぼ固定されており、我々は大きな努力をはらって生産率を上げることができるだけである。
一方、潅漑用水、肥料、農薬その他の資源の豊富な使用は、限られた土地の上で食物の増産を可能にする。 農地1ヘクタールあたりの食物の生産トン数を、「穀物の生産率」と呼ぶ。 大量の農薬、肥料、潅漑用水の使用により、アメリカでは穀物の生産率は1ヘクタールあたり約4トンにものぼっている。 しかし多くの第三世界の国々では、1ヘクタールあたり1トン程度にすぎない。 にもかかわらず、これは大きな進歩を意味している。 工業国がここまでになるには時間がかかったのだ。 1815年には、フランスの小麦の生産率は、1ヘクタールあたり0.78トンにすぎず、1850年になっても1トンになることはなかった。 1900年でも、小麦の生産高は1ヘクタール1.38トンにすぎない。 生産率の大きな飛躍は1950年代になってやっと始まった。 1960年代には生産率はヘクタールあたり3.08トンに上昇した。 対照的に、ロシアはこの変革の世紀の遅くまで、ヘクタールあたり約0.5トンの生産率しかなかった。
人口予測によれば、人口は21世紀の終わりに倍増して安定するが、耕せる土地がほぼ固定されているため、我々は穀物の生産率を2倍にするほかない。 幸運にも合衆国の穀物生産率は、この必要に応じられるレベルに達している。 もし他の国々でも合衆国と同じほど効率的な生産が得られれば、誰もが十分な食糧を持つことになるだろう。

穀物

Crops

「緑の革命」の不安な側面のひとつは、それが小数の基本的穀物にのみ偏っているということだ。 科学者は栽培できる植物を約8千種発見しており、発見数は年々増えている。 にもかかわらず、世界の穀物量の半分以上が小麦、米、トウモロコシ、じゃがいもによって占められている。 事実、農業生産の95%はたった30種の穀物で占められている。 この少ない品種を、我々は最大限の生産性に引き上げることができた。 例えば、トウモロコシはメキシコの草の一種、テオシンテからきたもので、千年以上に渡って育てられ、小量の固い実のついた茎から現在の巨大な実へと改良された。 世界中の自然の品種が、我々の開発した優良品種へと着々と取り替えられてきている。 例えば、百年前のギリシャでは100種類以上の小麦が育てられていたが、現在はたった6種にすぎない。 この「単一栽培」には、病気や害虫の流行に対する弱さという危険性がある。 もし新しい種類の菌類、かび、害虫などが出現し、現在の穀物種がそれに対する抵抗力を持たなければ、世界の穀物は1年にして荒廃してしまう。 最も有名な例は、アイルランドのじゃがいもの虫害である。 じゃがいもは1500年代の終りに、ペルーからヨーロッパに紹介された。 湿気の多いアイルランドでは気候に理想的に適合し、小麦の4倍もの収穫が得られたので、じゃがいもはたちまち主要産物となった。 食料の供給は急増し、人口は跳ね上がった。 そして1846年と47年に虫害が起こった。 100万人が餓死し、100万人が死を逃れるために移住した。

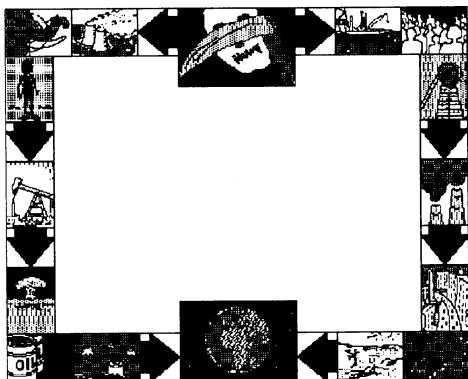
防衛のために最も良いのは、植物の種類の豊富さを生かし、多様な農業を維持することである。 残念なことに単一化の利益と、小数の穀物への研究の集中のために、この戦略は見捨てられている。

ダムの使用

Dam Use

ダムは三つの有益な仕事を行う。 まず、ダムは使用可能な最もクリーンな電力源のひとつである水力発電を行う。 次に農業用に安定した水源を提供する。 最後に洪水の被害から人を守る。 ダム建設は高価につくにもかかわらず、優れた投資対象である。 しかし、ダムにネガティブな側面もないわけではない。 ダムは水の自由な流れや、動物の移動を妨害する。 ダムの貯水池は水生の生物の種を破壊することもある。 このことは、法廷がテリコ・ダムの建設を差し止めたことによって印象づけられた。 このダムは小川をせき止め、テネシー・スネイル・ダーターという小魚を絶滅させてしまうはずだった。

ダムによる環境災害の最も悲惨な例は、エジプトのアスワン・ハイ・ダムの場合である。 これは1950年代にナイル河に建設され、莫大な量の発電を行い、毎年の洪水を終わらせた。 ところが、この洪水は新鮮な泥を運んで下流の土壌を活気づけるものだった。 洪水が止まると土地は肥沃さを失い始めた。 加えて、下流域でシストソミアシス（水生のカタツムリが運ぶ病気）が急激に増加した。 現在もダムの崩壊事故は起きている。 一度事故が起これば大惨事となる。論争の的になっているカリフォルニアのオーバーン・ダムも、もし建設して崩れたとすれば1万人の人々が死亡する。 ダム事故の多くはそれほど劇的ではない。 最も最近の水力発電ダムの事故は、1977年にアメリカで起きている。 テトン・ダムの崩壊によって10人の人が亡くなった。全体的に見ると、ダム建設が始まってから百年の間に、水力発電ダムの事故によって約5千人の人々が命を落している。

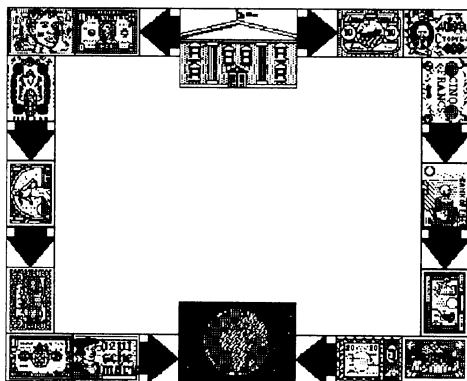
死亡ポイント

Death Points

このシミュレーションでは、人間の生命の損失によるペナルティポイントを数多く設けてある。ある人々はこの設定に対して不快感を持つに違いない。結局人間の生命は神聖なもので、これを数量化することは、ある人々の感覚を侮辱することになる。人間の生命を神聖なものと見るロマンティックな考え方からすれば、いかなる数量化も人間の生命をおとしめるものである。人間の生命は、評価も測定も数量化をも越えている。それを有限な何かのように扱うことは冒涜である。残念なことに、我々のこのロマンティックな考え方は、残酷な現実と衝突する。我々は直ちにあらゆる個人を養い、高水準の生活を与え、あらゆる災害から守ってやることはできない。一部を達成することはできるが、すべてというわけにはいかないので、それらの目的から取捨選択をしなければならない。しかしどうやって選べば良いのか？決断の基準をどこに置けば良いのか？

生命を救う金を支払うために、判断のヒントになるものがある。アメリカ原子力規制委員会は、原子力発電所の経営者が安全基準にのっとり、予想される人身事故1件につき50万ドルを準備すべきだと述べた。1970年に行われた議決パターンの分析は、米国会が高速道路の安全性の改善について、一人の生命につき50万ドルを費すであろうことを示した。平均的アメリカ人は、家庭で自分自身の生命を守る備えとして1千ドルしか支払っていない。そして世界中で飢餓にみまわれている人々の食糧について、我々の費やす金の上限は、一人の生命につき5ドルほどにすぎない。

我々は高潔な者であると自称するが、我々のふるまいはその理想にくらべて遥かに実利的なものである。施しには用心深くなり、受取人の違いによって金額に差別をつけている。このシミュレーションは、こうしたありがたくない真実をも明らかにするものである。

「自然への負債」

Debt for Nature

熱帯雨林の破壊の多くは、第三世界の国々が莫大な負債を支払わなければならない、という原因から起こっている。 彼らは森林資産を輸出利益に変えることで、これを行っている。 彼らは森林を伐採し、材木を売り、伐採した土地は牧草地として使用して牛肉を売り、それらは北半球に買われて、負債を支払うための貴重な収入となる。

経済関係の働きを意識する環境保護主義者は、北半球の国々が環境保護のために、熱帯雨林の保護の見返りに、第三世界の負債を帳消しにすることを提案した。 帳消しにした分の金額は、森林を保護区として残しておくために使われることになる。 少数の第三世界の国は、こういった提案を歓迎している。 受け入れる国は、利益を引き出し分け前にあずかろうとして、しばしば土地を市場価格以下で買おうと準備している。 こうした提案はまた森林を永久にそのままにしておくことを要求する。

こうした提案は結局、主権を危うくするという強い不安を引き起こす。 第三世界の国々の多くはやっと30歳になったばかりで、自らの主権を脅かす事柄に対して神経質である。 歴史的文脈によって事情はさらに悪くなる。 「あなた方は最初に植民者としてやって来て我々の資源を略奪した」と彼らは言う。 「そして今度は環境保護主義者としてやって来て、我々に自分の資源を使ってはいけないと言う」。 環境保護主義が植民地主義の1990年版として拒絶されたとしても、誰が彼らを非難できよう。 例えば、日本人があなた（アメリカ人）の町に公園を作るよう提案し、町議会が区域を区切ったり、干渉したりしないことに同意したとしたら、どんな感じがするだろうか？

砂漠化

Desertification

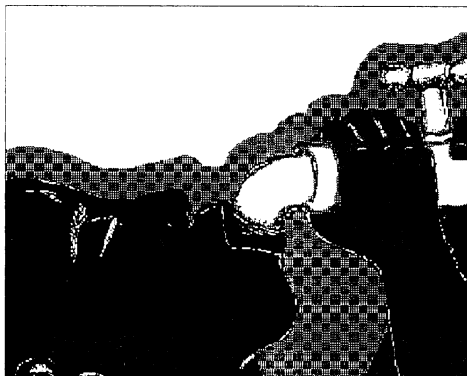
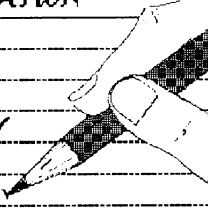
地球の陸の表面は、ほとんどが未開拓の土地——草原、潅木地帯、サバンナなど——からなっている。 そうした土地は、豊かな熱帯地方のように多くの生命を養うことはできないが、優れた生態系を育んでいる。 残念なことに、人口の圧力は地域の人々にこの土地が生み出せる以上の食物を、そこから絞り取ることを要求している。 こうした動きは破壊的で「砂漠化」という結果を生む。 原因には次のようなものがある。

「牧畜の過剰」。 せまい土地にあまりにも多くの家畜が詰め込まれると、放牧している牧草地を損なってしまう。 家畜が大きな体でのし歩くと土壌は突き固められ、糞が土地を広く覆い、若芽は成長する前に食べられてしまう。 牧草地が養える動物の数はおおよそ限られているが、その数が増えすぎると牧草地は衰弱する。

「拙劣な農業技術」。 水のやり過ぎ、長期間の潅漑による塩性化、また時には、表土の侵食を押さえ切れずに、農民が土地を荒廃させてしまうことがある。 穀物の輪作の失敗、土壌に合わない肥料などが土地を荒廃させることもある。 どちらの場合も、使用できない不毛の土地が残る。

「山林伐採」。 雨の少ない地方では、樹木が水循環に重要な機能を果たしていることは知られている。 樹木は土壌の深くまで水を求め、地表に引き上げて空中に蒸発させ、水蒸気は雨となって土壌に戻ってくる。 もし樹木が伐採されると、その地方の降雨量は減少し、その地方は砂漠化する。

飲料水

Drinking Water

水は飲料用よりも入浴、洗濯、穀物への潅漑、工業の工程など、他の一般的な用途に多く使われている。 しかし、飲料水は人間の生存に必要不可欠なものである。 飲料用に使う水は、他の用途に使うものより質の高いものでなければならない。

我々は当然のように清潔な飲み水を飲んでいるが、安全な飲み水が保証されていない国は多い。 歴史的に水は病気の最大の伝染源だった。 そうした病気は驚くほど数が多い。 我々はメキシコ下痢を笑うが、下痢性の病気で毎年6百万人の子供が死んでいる。 子供は、病気によって起こる脱水状態を持ちこたえるだけの、予備の体液を持たない。 飲み水が運んで来る病気には、他にコレラ、チフスに似たサルモネラ病、赤痢に似たシゲラ症がある。 これらの病気は人間の生命の大きな脅威となっている。 最近まで、人がこうした病気にたいしてできることはほとんどなかった。 飲み水には井戸よりも、汚れた溜り水が多く用いられた。 情況は、人口が増大する事でさらに悪化した。 病気に感染した、たった一人の人間が、数千人の使用する水を汚染することもあり、コレラやチフスの流行は大きく広がって破滅的な被害をもたらす。

1800年代の終わりに、医者はバクテリアについて研究するようになり、供給する水を守るための法律が制定された。 ここ数十年間で、水感染の病気は文明国では取り除かれた。 しかし南半球では、人口の増加に安全な飲料水の供給が追いついていない。 およそ10億の人々が安全な水を利用できないでいる。

エネルギーの保存

Energy Conservation

消費者の視点から見れば、エネルギーの節約は犠牲的で困難なものと受け止められる。 社会的な視点から見れば、エネルギーの節約はコストが安く、または全くかからず――あるいは金を与えてくれさえする――環境を汚染せず、生命の損失を生じさせないエネルギー形態と考えられる。 おおざっぱに言って、エネルギー保存の戦略には三種類ある。

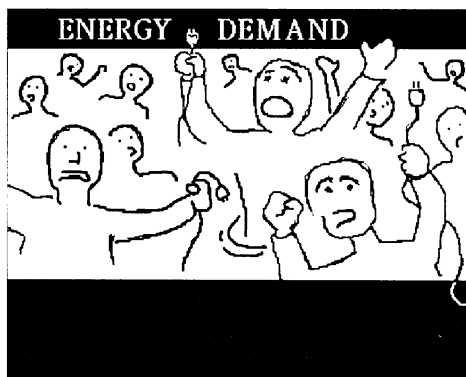
ひとつ目は「技術的保存」で、最も楽観的なものである。 我々はテクノロジーの発達によって、より少ないエネルギー量で必要を満たすことができる。 コンピュータにより、大きな建物でのエネルギーの使用を監視し、より小まめに暖房のスイッチをつけたり消したりすることができる。 建物の住人はなんらの不便を感じることなく、使用されていない部屋で無駄に使われる暖冷房のエネルギーを節約する。 同じように、コンピュータ制御された自動車の燃焼システムは、機械制御のものより遥かに効率の良いものとなる。

「代替品の使用」は工業に最も多く用いられる。 浪費的な物やプロセスを、エネルギーを節約するものに置き換えるやり方である。 例えば、商用の旅行の代わりに電話の使用を増やすことがこれにあたる。

エネルギー保存の最も困難な方法は、「生活習慣の改善」である。 消費者は、生活習慣をエネルギー保存の要請に合うように調整しなければならない。 これはまったく主観的なものである。 もしあなたがサーモスタットを72度にセットしたいと思い、私は68度が最適だと主張すれば、どちらが正しいセッティングか、誰が決めれば良いのか？ この問題を扱う唯一の方法は、エネルギーの価格を適切に設定しておき、消費者自身に、どこでどのようにエネルギーを節約するかを決めさせることだ、と私は考える。 残念ながら先進国のエネルギー価格は不当に安く、乏しくなりつつある資源の浪費を煽っている。

（訳注：文中、温度の表記は華氏です）

エネルギーの需要

Energy Demand

グローバルな視点に立てば、あなたはニワトリと卵のような、面白い疑問に巻き込まれるかもしれない。

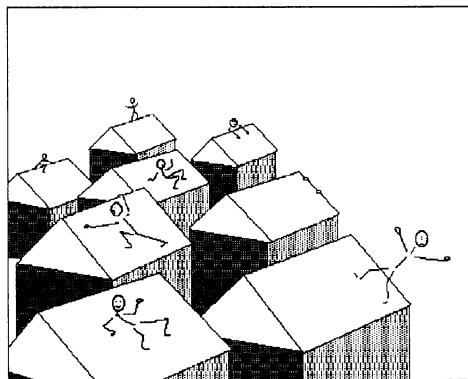
例えばエネルギーを見てみよう。

この世界を動かすのに本当に必要なエネルギーはどれだけだろう？ 個々のエネルギーの使用は、ほとんどは不必要ともいえる。 家や建物を暖めるためのエネルギーは、本当は必要ではない。 厚着をするか、熱帯地方に行けば良い。 人間はセントラル・ヒーティングなしに数千年間生きてきている。

反面、使われるのを待っているエネルギーがあることも事実だ。 浪費をしたいわけではないが、それを何かに使っても良いだろう。 本当の問題は、どれだけのエネルギーが必要かを決めることだ。 これが「エネルギーの需要」である。

そこであなたは、「エネルギーの需要」が「必要なエネルギー」と同じかどうか疑問に思うかもしれない。 はたして本当に必要な量を公平に見積もり、それ以上を求めないことを、人々に期待できるだろうか？ 「エネルギー需要」は「必要なエネルギー」より、いつも多くはないだろうか？ もしそう思うなら、社会主義の国へ行って、なぜ需要と必要が同じにならないかを見てくれば良い！ あなたや私が本当に必要とするエネルギーの量を、他の誰かが決める、うまい方法というのはない。 必要量を公平に決める唯一の方法は、各個人が自分で、それが代金を支払うに値するほど必要なエネルギーであるかどうか決めることである。 つまり「エネルギーの需要」は「必要なエネルギー」と等しいのだ。

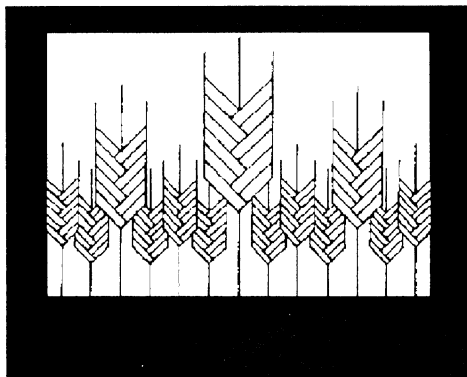
屋根からの転落

Falls From Roofs

画面にややこっけいな絵を使っているのは、一般に屋根から落っこちるということがこっけいに聞こえるからだ。 放射能汚染や酸性雨といったものの危険性と比べると、屋根からの転落は馬鹿馬鹿しいことに聞こえる。 しかし、屋根からの転落は笑い事ではない。 1988年には6500人のアメリカ人が屋根から落ちて死んでおり、これは家庭での事故死の最も大きな原因となっている。

太陽エネルギー装置のある家の持ち主は、屋根に集光器を取り付け、自分で手入れを行う。私はソーラー温水器を持っているので、一年に何度も屋根に登って集光器を掃除し、冬はタンクの水抜きをし、春にもう一度水を入れ、傷んだ絶縁材を取り替え、といったことをしている。これについて研究したハーバート・インハーバーは、1000メガワットの普通の発電所に相当するだけのソーラー・ヒーターを据え付けたら、修理をしていて毎年およそ4人の人が死ぬだろう、と結論している。 この数字は、他のエネルギー形態が強いる危険性に近いものである。 石炭火力発電所は、一年におよそ10人の人を死なせている。 原子力発電所による死亡者は、年間でおよそ一人に満たない。 しかし、我々はたくさんの時間とエネルギーを、発電所との戦いと、それらが作りだす危険について論ずることにかけている。 なぜ転落死については無視するのか？

強いられた危険と、自発的に選んだ危険との間には違いがある。 もし、私が冗談であなたの顔に銃を向けたら、あなたは慌てるだろう。 しかし、あなたが自分で自分に銃を向けているのなら、慌てず落ちついていられるだろう。 非自発的で強いられた危険は、自発的に受け入れた危険よりも恐ろしい。 しかし銃が発射されれば、それを誰が握っていようとあなたは死んでしまう。 屋根からの転落は深刻な死の要因とは見えないかもしれないが、実際には放射能や酸性雨と同じように「深刻な」要因である。 もし太陽エネルギーについて真面目に考えるのなら、こうした事実も考え合わせなければならない。

農地

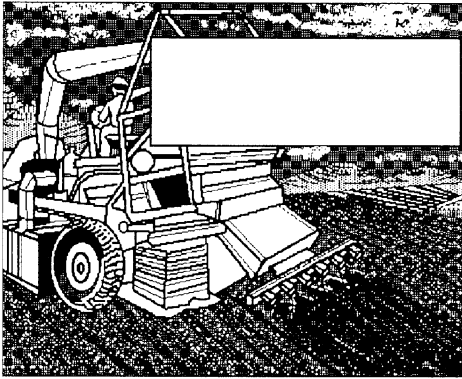
Farm Land

歴史上多くの場合、人々は新しい農地のための新しい未開拓地をあてにすることができた。もし使っている農地が消耗し疲弊したら、新しい場所を見付けて移動すれば良かった。

例えばマヤの農民は、各季節の終りに自分の農地を焼き払い、土壌をすぐに使い果たす習慣だった。 フランスの農民はそれほど浪費的ではなかったが、それでも広大な面積の耕地を何年も手を付けないで放置していた。 数世紀に渡って、次々と新しい土地に鍬が入れられた。

同じような過程が世界中に見られるが、現在人間は物質的限界に達している。 我々はもう膨れ上がる人口を養うのに、余分の土地は持っていない。 良い土地は全てすでに使われている。人類の歴史を概観すれば、20世紀は人間が地上を埋めつくした世紀と位置付けられるだろう。これは、今後増えていく人口が養えないという意味ではない。 適切な潅漑によって、より生産的にできる良い土地が、数100万ヘクタールも残っている。 穀物の生産率が増大すれば、限られた農地からでも食糧の供給の増大が期待できる。

この反面、塩化、浸水、土壌侵食など、すでに農地の破壊も起こっている。 これらは、すべて誤った潅漑のやり方から起こっている。 潅漑用水は塩分を含んでおり、それは土壌に蓄積されて土地の肥沃さを損なう。 潅漑用水はしばしば最も良い表土を洗い流し、ゆっくりと土壌を蝕み、土地を破壊している。

肥料の使用

Fertilizer Use

肥料は、土壌に必要な要素を補充するものだ。 肥料の主な成分は、窒素、リン酸、カリウムの三つである。 多くの穀物が、土壌からこれらの成分を奪ってしまう。 肥料はそれを補う。一見、肥料は穀物が奪ったものを、単純に補充するものと考えられる。 しかし、実際はもうちょっと複雑である。

ひとつはこの三要素の割合のバランスの問題である。 ある穀物はリン酸を多く使い、他のものは窒素を多く使う。 単に土壌に肥料を撒くだけの農民は、最後には様々な要素の過剰や欠乏を引き起こしてしまうことがある。

次に微量要素の問題が上げられる。 窒素、リン酸、カリウムは、土壌が必要としている要素のすべてではない。 植物には、少量多種の他の要素も必要である。 長年にわたる農作は、土壌からこれらの要素をゆっくりと消耗し、土地を痩せたものにする。 したがって単純に栽培、収穫、施肥をどこまでも繰り返すことはできない。

しかし、肥料は穀物生産率の飛躍的な増大をもたらした。 たった1トンの肥料は穀物生産率を15トン増大させる。 収益の漸減が起こるにもかかわらず、さらに多くの肥料の使用により、極めて肥沃化された土地でも増収が続いている。

肥料の使用は、富栄養化現象のひとつの原因となっている。 大量の肥料を施した土地から流れでる水は、硝酸塩を多く含んでいる。 硝酸塩は沼や湖に溜まり、藻やその他の水生植物を肥やす。 腐敗したそれらの植物は、水から酸素を奪い、しだいに水の中の動物をすべて死なせてしまう。 こうした事実は、このシミュレーションにも間接的にではあるが含まれている。

洪水による死者

Flood Deaths

先進国では、洪水はまれで、突然の激しい洪水も狭い地域に集中したものに限られている。そうした洪水は悲劇的だが、大量の人命が奪われることはまれである。しかし、世界のその他の部分では、洪水はよく起こり破壊的な被害をもたらす。

問題は地質的な作用から起こる。河川の谷は高い土地から来た沈泥で作られている。川は谷底を通って流れているが、雨期が来ると増加する山々の水によって、川は谷間にあふれ、新しい泥の層を残す。何世紀もかかって谷底は上昇する。

人間の話に戻ろう。川の谷間の肥沃な泥の層は農作に良く、文明社会は谷間に作られた。川は輸送に便利なので、大都市が川岸にできていった。人口は、自然が太古から洪水を繰り返し起こした場所に集中した。そして洪水がやって来ると、数千人の人間が流された。

人は、川の氾濫を抑えるために上流にダムを作る。そうした計画はしばしば巨大なものになり、取り組みには国家の財源が必要となる。カリフォルニアのセントラル・ヴァレー計画や、テネシー・ヴァレー開発公社はその良い例で、大成功を収め、この地方では洪水は忘れ去られたものとなった。しかし、こうした川を制御するダムを持たない貧しい国々では、問題は続いている。

山林伐採も洪水の要因となる。山の斜面から樹木の覆いが取り除かれると、土壌は雨水を蓄えておく力を失ってしまう。豪雨によって起こる大量の雨水は吸収されず、そのまま山の斜面を駈け下りて小川にそそぎ、川に流れ込み数百キロ下流に巨大な洪水を引き起こす。

食糧の供給

Food Supply

二つの要素が世界の食糧の供給に影響を与えている。 ひとつは食糧の総生産高（良好な状態で、現在の食糧生産でさらに10億以上の人々を養うことができる）であり、もうひとつは食糧の分配である。 10億の人間の半分が、いまだに食事の必要最低量を取ることができずにいる。一年にそれらの人々の約8%——つまり毎年4千万人——が、栄養失調で死んでいる！

ところが、大勢の北半球人は食物の取り過ぎからくる不健康に悩んでいる。 肥満、心臓病、高血圧、癌などは、我々のあまりにも豊かな食事の結果である。 北半球の国々は、大規模な飢餓に直面した国に気前良く食糧援助を行ってきたが、それは、問題が深刻なレベルに達して初めて行われることである。 問題を悪くしているのは、富める国々が第三世界の国々の必要としている農具の供給に対して、慈善的取り組みを欠いていることである。 我々は非常事態には直ちに食糧を供給するが、再発を予防する手段を供給することはしない。

第三世界の国々にも責任がないわけではない。 急進的、社会的、経済的な組織による様々な試行錯誤が行われ、経済を改善することのない見世物的プロジェクトのために西側の援助が使われた。 腐敗によって援助金が官吏に流れることもある。

飢餓のもうひとつ別の要因は紛争である。 実際、戦争の主な犠牲者は兵士ではなく市民であり、彼らは飢餓か、食糧と医療の欠乏によって引き起こされた病気で死んでいる。 1948年の中国市民戦争では、2千万人の人々が死んだが、銃撃による死者はあまりいない。 ほとんどの者は、単に飢えによって死んだのだ。

皮肉にも、緑の革命はこの問題を悪化させた。 前の世紀には、農民は自分自身と家族、その他を養うだけの穀物と農地を持っていれば良かった。 現在農民は、トラクターの燃料、肥料と農薬、潅漑用水に依存している。 もしこのどれかが使えなくなったら、穀物の生産は減少し、飢え死にすることになろう。

森林の開墾
Forest Clearing

森林の伐採には主に四つの理由があり、このシミュレーションでは、そのうちの三つだけを扱っている。 四つの理由とは木材の切り出し、自給農業のための開墾、薪の採集、牛肉生産のための開墾である。

木材の切り出しは、採集のための山林伐採の最も簡単な形態である。 きこり達は森を良い状態に保つことで生計を立てている。 自分の必要のために森林を維持しているのである。 北アメリカの木材会社は、環境問題に対して気を配っていることを宣伝する。 しかし彼らは、松やモミといった軟材を切り出しているのであって、それらは数十年で再生する。 彼らは、短期間の大きな儲けを狙えば20年後に大きな損をすることを知っているので、切り倒した分を積極的に再植林する。 熱帯の硬材の森は再生するまでに、およそ一世紀を要する。 硬材を切り出す企業は、この木材を再生可能な資源とは考えず、固定資本と見なしており、一般に再植林は行わない。 これはまさに早い者勝ちである。 そのため熱帯では、貪欲な振舞いが見られるのである。

自給農業のための開墾でも山林破壊が行われる。 アマゾン川流域や赤道アフリカや東南アジアで、土地を持たない農民は森に分け入り、木を燃やして食物を育てるための小さな土地を切り開く。 彼らを止める手だてはない。 貧困と絶望が、彼らを政府の手の届く範囲から締め出すのだ。 合計すると、土地を持たない2億5千万人の人々が毎年5百万ヘクタールの森を燃やし、さらに1千万ヘクタールに大きな損害を与えている。 残念ながら直接の行動では、この行いを止めることはほとんどできない。 しかし間接的な行動には望みがある。 我々は飢餓を減らすことができる。 もちろんこれは高くつくが。 これらの人々を森の先へ先へと押し出す、人口増加の圧力を減少させることもできる。

また、土地の改良によって森林の開墾を減らすこともできるだろう。 南半球の政治機構は遅れていて、少数の人間への富の集中を許している。 大きな商品作物の農園を作るために、貧民が森へと押し出されているのである。

森林の生物

Forest Habitats

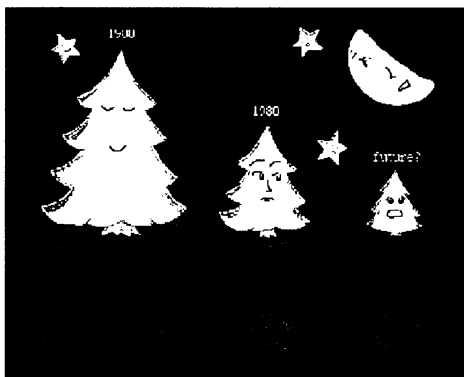
熱帯林は、地球上で最も豊かで最も活動的な生態系である。 これには三つの理由がある。ひとつは赤道近くに位置するために、光合成をつかさどる日光が強く、安定的な供給が保証されることだ。 二つ目は季節の影響を受けず温度が一定であることだ。 三つ目は安定した降雨が、植物の成長のためにたくさんの水を供給することだ。

地球上で最も良い気候に恵まれて、その生態系は豊富で壮大な生物構成を見せている。 熱帯林の1ヘクタールあたりのバイオマス（植物の光合成によって固定された生物量のうち石炭・石油を除いた未利用エネルギー資源）は、他のどんな生態系よりも多い。 そのうえ熱帯林1エーカーあたりの生物資源（動植物の総量）も他のどこよりも多い。 その豊かさは、植物や動物の種類の豊富さにも見られる。 ある生物学者は、たった1ヘクタールの一画の中に700種類の木を数えている。 別の学者は、たった1本の木に43種のアリを見付けている。 実際、熱帯林は余りにも生物が豊富であるために、生物学者はいまだにすべての生物を目録に入れることができないでいる。

熱帯林の盛んな賑わいのおかげで、我々の世界に対する認識は混乱させられる。 例えば、ここで木を切り倒して穀物を栽培すると、土壌はすぐに疲弊してしまう。 これは逆説的に見えるだろう。 なぜ、それほどたくさんの生物の生命を養ってきた土地が、穀物を植えると貧しくなってしまうのか？ 熱帯林の生態系が余りにも繁栄しているために、通常土壌の中にあるはずの栄養分が全て生物に占有されている、というのがその理由だ。 我々の持つ土壌の肥沃さの概念は、単に植物がある土地を意味するだけで、その土壌の上を通過する外来者を意味しない。熱帯林では、肥沃さは森林－－樹木、花、鳥－－そのものにある。 それらを取り払ってしまえば、後に残るのは生命のない土くれだけである。

地球は、温帯林と亜寒帯林をも育んでいる。 温帯林は落葉樹が優勢で、亜寒帯林はほとんどが松やモミのような針葉樹である。 その生態系は熱帯雨林のように豊富ではないが、大量の樹木を生み出している。

森林

Forest Land

文明の発達は、森林の開墾と密接に結びついている。
ローマ帝政期のヨーロッパは深い森に覆われていたのだが、農民は何世紀もかけて森を後退させた。 しかし現在では、森林は驚くべき速さで減少している。 1950年までに約1億ヘクタールの森林が除去された。 続く25年間で、更に1億ヘクタールが破壊された。 1975年から2000年までの25年間で、2億ヘクタールが消滅すると思われる。 元は10億ヘクタールあったと推定される森林面積は、すでに約7億ヘクタールにまで減少している。
破壊のほとんどは熱帯林で進行している。 温帯林と亜寒帯林は面積を維持している。 この理由は様々である。 これらの森林に共通する針葉樹は、広葉樹より成長が速く、森林は速やかに再生する。 温帯林や亜寒帯林での木材の伐採は、より組織的な活動であるにもかかわらず、再植林が有効に実行されている。 結局、北半球の一連の国々の強力な中央政府は、環境健全化政策の実施や強制に成功してきたということだ。
我々は、温帯林と亜寒帯林を維持していることに僅かな慰めを見いだす。 しかし、地球の生物圏で果たす役割という点から見れば、これらの森林は熱帯林ほど重要ではない。 最も激しい破壊は、最も価値のある森で行われているのである。 もし現在の傾向が続けば、熱帯林が2050年までに完全に破壊されることは、確実である。

薪の使用

Fuelwood Use

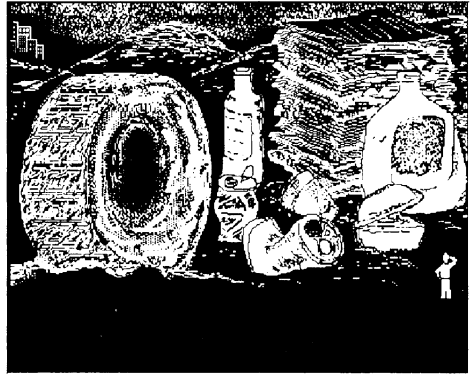
エネルギー資源といえば、多くの人は石油、石炭、ダム、太陽エネルギーなどを思い浮かべる。 しかし20億の人々にとっては、薪が唯一のエネルギー形態である。 様々な目的で使用される木材の半分以上は薪として使われている。 薪は暖を取るためや、調理のために燃やされる。ここ40年間で、他の目的の木材使用に比べ薪の使用は急速に伸びている。 この爆発的増加の直接の原因は、人口爆発である。

人が増えれば、調理に使う木も増える。 深い森林地帯では、まだ問題は少ない。 しかし、乾燥した地方では薪不足が深刻になっている。 衛星写真でアフリカを見ると、小さな町の廻りに明るい円の形が見える。 人々が周囲数マイルの単独の木を、すべて切り倒してしまったのである。 木が欠乏すればするほど、薪集めは手間がかかるようになる。 そして、木の枝、低木、あるいは樹木が切り倒される。 乾燥した土地では、深い地中の水を吸い上げる植物は木だけである。 さらに木は、日光を遮り土地を冷やす。 すべての木が切り倒されれば、温度が上がり降水量が減り、その地帯は急速に砂漠化していく。

薪が手に入りにくくなると、人々は糞を燃やすようになる。 しかし糞は、畑の肥料として使う方が良い。 糞がなければ農業生産は落ち込む。 調理を余りせずに済ます人々もいるが、これは消化器系の病気を増やすばかりだ。 調理は、そうした病気の原因になるバクテリアを殺す効果があるからだ。

人々が自分の必要な木を切り倒すのを防ぐことは不可能だ。 しかし、ひとつの政治的選択は可能である。 もし我々が、数100万台の安価な薪ストーブを与えることができれば、各家庭が必要とする木の量は減少する。 薪ストーブを使えば、たき火より効率的に薪を使うことができるからである。

ゴミ

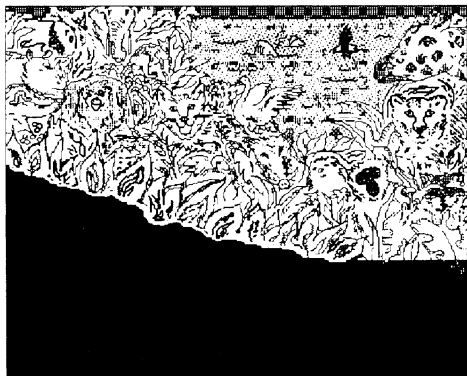
Garbage

我々は毎年10億トンのゴミを作り出し、多くは埋め立て地に捨てている。 ゴミは積み上げられ、土をかけられ、さらに積み上げられて、埋め立て地に山を作る。 ゴミ千トンにつき1ヘクタールの土地が必要となる。 ゴミのために一年で100万ヘクタールの土地を使っているのである。 これは地球の陸地の0.01パーセントにあたる！ しかし埋め立て地は、それ以上の問題を作り出す。

埋め立て地は有機物の腐敗で大量のメタンを発生し、メタンは強力な温室効果ガスとなる。 ゴミから出る毒物は地下水に染み込み、水を汚染する。

ゴミは資源とすることができる。 ゴミは、様々な価値ある原料資源の集まりである。 例えば、金属は鉱山で取って原石を加工するより、安いコストで再生することができる。 プラスチックの再生は莫大なエネルギーの節約となる。 紙製品（アメリカ人は平均して年間約20キロの紙を捨てている）はパルプに再生できる。 落ち葉や、腐敗した食物のような有機ゴミからは、含有するエネルギーを取り出すことができる。 つまり、有効に再利用できないようなゴミは少ないことになる。 そんなうまい使い道があるのに、なぜ我々はそうしないのだろうか？ 障害になっているのは、分別、運送、収集の問題である。 分別は最も難しい。 我々はまだプロセスを自動化する工夫をしなければならない。 そうしないと、ゴミの分別を人力に頼らなければならず、これは不衛生でいやな仕事である。

輸送と収集は同時に行われる。 大きなゴミ資源を扱う工場を建てれば、リサイクル事業が普及する。 そして特定の価値ある物質の生産は、経済的な魅力を持つまでに高まるだろう。 この価値のために、我々は広い地域からゴミを集積し、輸送コストを下げ、浪費の魅力を引き下げなければならない。 しかし、このゴミを運ぶためのガソリンのコストが、ゴミから生み出されるエネルギーより大きいものになる可能性もあり、否定的要因となっている。

地球の遺伝子プール

Global Gene Pool

ここでは「生物の多様性(Biodiversity)」として知られている問題を扱う。 これは、自然の生態学的外傷に対する最初の防衛線である。
（訳注：遺伝子プールとは、ある生物種集団を構成する全個体が持っている遺伝子全体を指す。地球の遺伝子プールとは、地球の生物の遺伝子全体であり、このシミュレーションでは生物の多様性――種の数――としてこれを捕らえている）

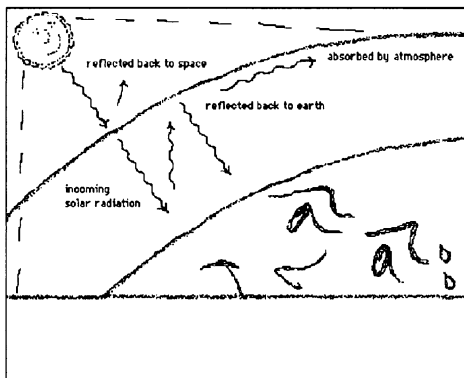
環境が変化すると、ある種は生存することができなくなり、別の種がその生態的適所の隙間を埋める。 適所を埋める速さと能率は、生物の多様性に左右される。 その例は島のような孤立した環境に見ることができる。 そうした環境は、変化に対してしばしばはっきりした反応を見せる。 人間が犬や鼠を連れてやってくると生態系は破壊され、その隙間に新しい種が移動して安定を取り戻すことは不可能になる。 対照的に熱帯雨林は、生物的多様性からくる弾力性を見せる。 この地方の開墾農業は、捨てられた土地をすばやく森が埋めるために、永続的影響を残すことは少ない（これは、局部的変動にのみあてはまる。 より広い変動は、複雑な生態系を不安定にさせ、崩壊に陥れる場合もある）。

生物の多様性は、その他に、より直接の経済的利益を与えてくれる。 例えば、たくさんの植物種を新しい食物資源に使うことができる。 最近、ニューギニアで発見されたウィングド・ビーンという種類は、大豆と同じ栄養価を持ち、根も葉も茎も花も食べることができる成長の早い植物である。 現在のところ、我々が農作の可能性を完全に吟味したのは、全植物種の僅か0.01%にすぎない。

新しい薬品（「薬品」を見よ）や工業生産も、自然に生じる種に大いに依存している。 例えば鯨油は、石油から作られるオイルよりもしなやかで優れているので、小さなボール・ベアリングの潤滑油として使われている。

二畳期の終わりの最後の大災害から、自然は2億年をかけて地球の遺伝子プールを築き上げてきた。 現在の破壊の程度からすれば、我々は2億年の努力の遺産をたった1千年で破滅させてしまうだろう。

地球の温度

Global Temperature

これはシミュレーション中、非常に複雑な問題を大きく単純化した部分である。 このシミュレーションは地球の温暖化を、三つの温室化ガスーー二酸化炭素、フロン、メタンーーによる単純な現象として扱う。 実際には、それ以上の要素が働いている。

太陽光の反射度を表す「アルベド」という要素がある。 地球のアルベドは、覆っている雲の状態によっても変化する。 雲は高いアルベドをもち、太陽光の大部分を宇宙へ戻し、その結果地球を冷やす。 もし地球が暖まり始めると、より多くの雲ができて、問題を相殺する冷却現象を引き起こすだろうか？ あるいは雲は少なくなり、問題がより深刻になるだろうか？

雪は高いアルベドをもっている。 もし地球が暖まれば、寒冷地の雪の覆いは減少し、黒い表土が太陽光をより吸収して温暖化を助長するだろう。 しかし温暖化した地球は、高緯度地帯により多い降雪をもたらすかもしれない。

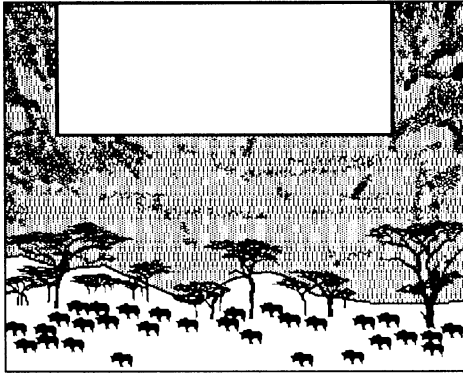
また、水蒸気は温室効果を高める働きがある。

それから私は、大気汚染が雲のアルベドを増す一方で、降雨を減らしてしまうことを述べただろうか？ おやおや、もうこんがらかってきた。

地球の気候は、常に変化してきた。 ちょうど1万年前は氷河期の真っ最中だった。 数百万年前には、モンタナの湿地で恐竜が草を食べていた。 しかし、我々が人口的に作り出す変化の度合いは、かつて地球が経験したどんな変化より激しく、このことが新しい問題を作っている。

例えばもし地球が暖まれば、温帯林が成育できる緯度は一年に数マイルという速さで北へ移っていくだろう。 しかし、温帯林の多くの落葉樹の再生はゆっくりで、移動の地理的範囲は限られる。 森は、その北端に新しい若木を成長させる速さでしか北へ移動できず、成育緯度の移動に追い付くことはできないだろう。 そして我らが森の領土は、ある境界線に固定されてしまう。 もし、我々の法律機構が森に境界線を越える移住を許さないとしたら、どうして森が生き延びることができるだろうか？ そしてその生体系に何がおこるだろうか？

草原

Grasslands

草原は地球の陸地の7%を占めている。 草原地帯は、乾燥した気候と短い雨期で特徴づけられている。 草は、地中の僅かな水分で急速に成長する。 草は種を散らして枯れ、次の年まで潜伏する。 草原は動物の種の、ほんの一部を養っている。

小型の穴居哺乳動物（例えば穴居リス、プレーリー・ドッグ、ハツカネズミなど）や小数の小鳥は草の実を食べる。 猛禽類のあるものは穴居哺乳動物や小鳥を食べる。 大型の草食哺乳動物は直接草を食べ、越冬するために栄養分を体に貯め込む。 小数の強力な肉食獣（狼、虎、ライオンその他）は草食動物を食べる。 そして掃除屋たちが死骸の残りを食べる。

多くの歴史において、人類は草食動物を食べるために間接的に草原を利用してきた。 ほとんどの場合、人間は野性の草食動物の代わりに飼い馴らされた牛をおいた。 痩せた土地では羊ややぎを飼ってきた。 しかし最近になって、これらの乾燥した土地から人間がより高い生産性を絞り出そうとする、新しい開発の試みが見られた。 先進国では深い地下水を汲み出す井戸が掘られ、この水を潅漑に使って穀物を豊かにしている。 しかしこの土地の開発は、成長期の穀物の水の消費量が決まっているので、地下水の量に制限される。 一度地下水が干上がってしまうと、土地は必ず元の状態に逆戻りする。 この現象は現在、ロッキー山脈東部の大草原で進行中である。

貧しい国々では、潅漑用ポンプを買うことができないので、狭い場所にたくさんの牛を押し込める雑なやり方で土地を乱用している。 そうした方法でも短期的には生産性を増大させることができる。 しかし一度土地が枯渇してしまえば、この方法は崩壊する。 一度生産力を落とした土地は砂漠に変わっていく。

地球の総生産

Gross Global Product

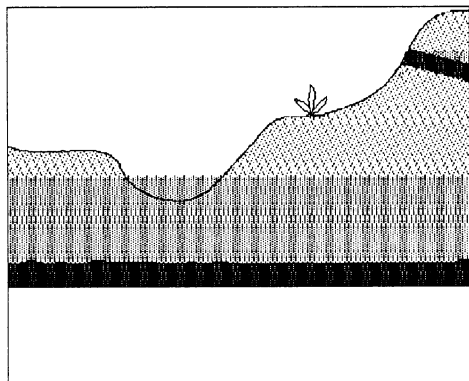
これは、地球全体の商品やサービスの総生産量である。 一年間に全ての人が作り出す富の総量である。

平等な世界では、「地球の総生産」は人類全体の物質的幸福の達成を意味するだろう。 残念なことに、この世界は平等な場所ではなく、その富は公平に分配されない。 ある人々が物質的進歩の果実を味わっている時、一方では生存に必要な食物を手に入れることができない人々がいる。 したがって、地球の総生産は人類の幸福の公平な指標ではない。

地球の総生産は、個々の国々の国民総生産を元に計算されるが、しばしば政治的要因によって歪曲される。 ある政府は見栄えを良くするために、国民総生産の数字を巧妙に変更する。 アメリカ政府はしばしば予算不足を正当化するために、不自然な経済的数字を用いる。 株式市場の変動もＧＮＰの数字を歪めることがある。 1987年8月の株式市場の暴落の時、合衆国のＧＮＰはフランスのＧＮＰと同じになった。

しかし地球の総生産は、全体規模の経済を量る助けになる。 その成長は経済的進歩のしるしである。 また、その成長は他の事柄にも影響する。 例えばゴミである。 地球の総生産が上昇すれば、ゴミの排出量も増える。 金持ちになればなるほど、投げ捨てる物は増えるようだ。

地下水の蓄え

Groundwater Supply

我々は雨水と地下水の二つの水資源を持っている。 このシミュレーションでいう「雨水」とは、川、貯水池、浅い地下水といった、降雨によって再生されるすべての水の形態を含んでいる。

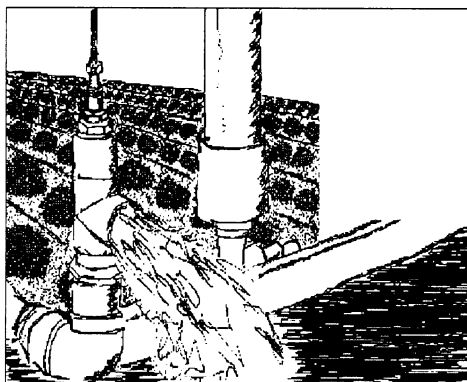
「地下水」とは、このシミュレーションでは数千年間かかって蓄えられた水で、古層地下水を指す。 これは、地中深くにあって補充することができない。

古層地下水発見のひとつの例はオガララ層で、これはロッキー山脈東部の大草原の地下に広がる帯水層である。 オガララ層は、数千立方キロの水を蓄えていると推定される。 合衆国の穀物畑の潅漑の20%はオガララ層の水によっている。 第二次世界大戦以来、農民は驚くべき速さでこの層から水を汲み上げてきた。 およそ500立方キロの水がすでに失われた。 その結果、水面は下がってきた。 現在までに、以前オガララの水で潅漑されていた土地の約5%が生産を止めており、今後10年間にさらに15%が失われる恐れがある。

シナイ半島では、非常に古い帯水層の広大な貯水池が発見された。 乾燥した地域では、そうした水の蓄えは価値ある資源となる。 水は塩分を含んではいるが、それでも農業用に使うことができる。

古層地下水は優れた資源である。 水は大量にあるが、補充することはできない。 一度使ってしまえば取り戻すことができない。 それが有限で再生不能の資源であるという事実は、我々がそれを使うことの妨げにはならない。 我々の任務はこれを有効に使い、次の世代に多くを残し、すでに消費してしまった水を補う、新しい技術を開発することである。

地下水の使用

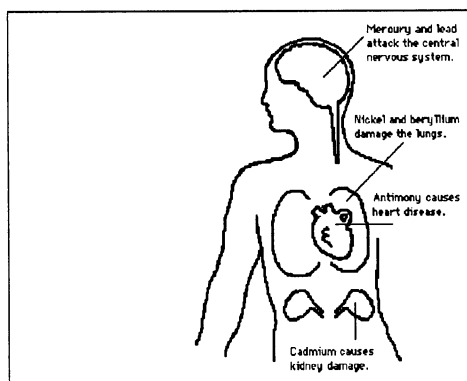
Groundwater Use

地下水の使用は、20世紀の農業の大革命のひとつである。 それは、農業の電化となる農業用の電気設備と密接につながっている。 これは、井戸の揚水ポンプに電気が必要だからである。電気は必要不可欠であるために、レーニンは共産主義を「農業の電化プラス、ソビエト」と定義したことがある。 潅漑ーー多くは古層地下水から供給されるーーは、緑の革命の四本柱のひとつである（他の三つは穀物の品種改良、農薬、肥料）。

潅漑は、農業に二つの直接的利益を与える。

ひとつは、穀物が吸い上げる水分量の確実な増加である。 例えば、カリフォルニアのセントラル渓谷は良質の土壌、豊富な日光、そして成長に適した季節の長さに恵まれている。 しかし、4月から11月まで降雨のない土地でもある。 谷は暑く乾燥している。 潅漑なしには、カリフォルニアは自分を養うだけの食物を育てることができなかっただろう。 潅漑によって、そこは世界でも最も生産的な地域となったのだ。 ある科学者は、もし都市を取り払って集約的な農業地域にすれば、このひとつの谷間で世界中を養うだけの食物を育てることができるだろうと推定している。

潅漑のもうひとつの利点は、その確実性である。 雨に頼る穀物が成功するか枯れるかは、気象前線の気まぐれに左右される。 潅漑された穀物は違う。 水の供給の確実性は、農民に他のやり方よりも大きな発展を可能にさせた。 不安が減ったことにより、より野心的な植え付けが可能になり、より大きな収穫を生んでいる。

重金属による死者

Heavy Metal Death

重金属の中で毒性を持つものは限られているが、それらは強い毒性を持っている場合がある。多くの死の原因となっている二つの重金属は、鉛と水銀である。

鉛は多方面に使われる材料で、非常に腐食に強い種類の金属である。ローマ時代に作られた鉛管がいまだに使われている。しかしその最も危険な形態は、ガソリンの中の制爆剤である。鉛は大気中に放出され、汚染された空気を吸う人々の体に入る。

重金属の毒による最も極端な例は、日本の漁村、水俣の悲劇である。村の近くにある工場が何年間も水俣湾の水中に水銀を投棄し続けた。水銀は、そこに住む魚に吸収され、人々は大量の汚染魚を食べた。食べる度に水銀は蓄積された。人々は、震えや痙攣を覚えはじめた。女性は奇形児を生んだ。およそ300人の人々が死に、村のほとんど全員が病に冒された。水俣のケースは、短期間の大量の死者によって世界に衝撃を与えたが、多くの重金属による死はそれほど急激には起こらない。汚染された都市に住む子供は、鉛を含む空気を吸っている。彼らの体内に何年間も蓄積された鉛は、精神的、肉体的な成長を遅らせる。彼らは病気に弱く、不活発な人間になってしまう。

重金属の使用

Heavy Metal Use

重金属は工業に不可欠である。 それは工業の工程で、小さいが極めて重要な役割を演じる。重金属が最も目立って使われるのは、冶金である。 多くの特殊目的の合金が重金属を含んでいる。 工業用に使われる重金属の数は多い。 クロムは錆止めのメッキに使われている。 バナジウムは鋼鉄の強度を増すために混ぜられる。 しかし、重金属の中で最も広く使われているのは、鉛と水銀である。

鉛は最も大量に使われている重金属である。 鉛の毒性は以前から知られてきたので、直接人体を冒すような用途には使われない。 用途には水道の鉛管、塗料の添加剤などがあるが、最も多いのはガソリンの添加剤で、広い地域の大気中に直接、鉛が排出されるので特に危険である。残念なことに、第三世界の多くの国々では、そうした鉛の使用の規制は制度化されておらず、鉛はいまだに使われている。 他にもたくさんの用途がある。 鉛は、自動車やその他の高い効率と低コストを要求する用途で使われている。 鉛は、酸化鉛電池に大量に使われている。 鉛は、すべての電気器具、重り、レンズや装飾用のガラスの、特殊な鉛成型技術に使われるハンダの主成分である。 また電線の外装、弾薬、放射能の遮蔽物への使用も見られる。

水銀も温度計、電気スイッチ、農薬、歯科の調合剤、電池、ある種の絵具などに広く使われている。 鉛と同様、水銀は高い毒性を持っている（「重金属による死者」を見よ）。

工業生産
Industrial Output

工業は、環境的悲劇の大悪人として多く取り上げられる。 工場は煙を吐き出し、毒性の廃棄物を捨て、水を汚す…すべて欲深い利益の追及のために。 これが狂信的な環境保護主義者が使う標準的なイメージである。

私はこのゲームが、工業いじめに一役買うことを認めなければならない。 ゲームに勝つためには、単に収入を得るためでなく、工業活動を抑制するために、工業に税金をかけなければならない。

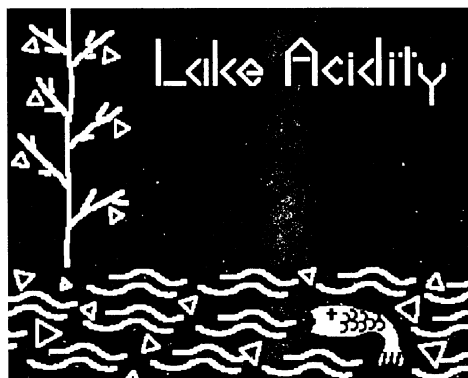
しかし工業は、我々が価値をおく商品を人間に提供するためにある。 工業は単に、我々がそうしろと言ったからだけではなく、我々がそうすることに多額の金を支払っているために活動しているのだ。 一般的な環境問題の議論に比べて、私が少数意見を言うことを許して欲しい。私に工業賛美の歌を歌わせて欲しい。

人間に与えられた様々な能力を考えると、単純な筋力という最も野蛮な能力ひとつが使えなくなれば、その他の人間の空想による創造的な飛躍の多くは不可能になる。 工業は常に、人間が野蛮な能力をふるう必要性の多くを取り除いてきた。 例えば、筋力はかなり以前から機械動力に取って替られている。 工業の進歩によって、今世紀の平均的労働者は、2世紀あるいは10世紀前の平均的労働者に比べて、より高級な人間の能力を発揮している。 人々は自分の仕事により、優れた能力を振るうことができるようになった。

これは、工業の足元に屈する、あわれな追従に聞こえるかもしれない。 我々は普通、ブルーカラーの労働者が機械的に部品を打ち出し、データを打ち込み、ハンバーガーをひっくり返していると考えている。 退屈な仕事に見えるかもしれないが、40エーカーの土地で何日も続けて人力で鋤を引いたり、明け方から日暮れまで雑草を刈ったり、大量の穀物を背負ったりする苦労よりはましだ。

工業は、そこら中にある大ボラよりは、仕事を人間的にしてきたのだ。

湖の酸度

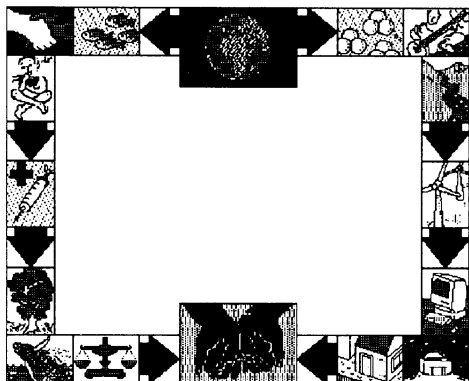
Lake Acidity

酸性雨は湖に蓄積する。 酸度に対する湖の反応には、非常に多くの要素が関わっている。その主なものは、その地方の土壌の化学組成である。 アルカリ土、砂地、石灰岩の土壌はかなりの量の酸を吸収でき、影響を少なくする。 しかし、その他の地域では酸性雨に対する激しい反応が見られる。 湖のペーハー（pH. 水素イオン濃度指数）は急激に下がり、魚が死ぬ。

不思議なことに、酸だけでは魚の死の主な原因にはならないらしい。 ある研究では、魚を死なせるのは、酸とある微量の金属の組み合わせであることが示されている。 例えば、水の中の少量のアルミニウムは、酸性の水の毒性を増幅する。 二つの湖が同じ酸度なのに、養える生物の量が違うということもありうる。

湖の酸度の問題は、南スカンディナビアで最も顕著である。 大ブリテン島からくる酸性雨は、この地方の花崗岩質の土壌と浅い湖に、特に有害である。 数千の湖でペーハー値が5.5未満に下がっているのが確認され、魚の被害は日増しに増えている。 スウェーデン政府は酸化を逆転させるために、湖に石灰を散布するという必死の手段に訴えた。 湖の酸化は回復可能な現象である。 もし酸性雨を取り除くことができれば、湖は自然にゆっくりと浄化され、数十年後には、元の化学バランスを取り戻す。 しかし生態系が、それほどすぐに回復するかどうかは別の問題である。

生物ポイント

Life Points

この項は、生物の多様性ポイント、森の生物ポイント、湖の生物ポイント、海の生物ポイント、生活の豊かさポイント、持続能力ポイントに関わっている。 それらに共通しているのは、非常に主観的な価値の要素である。

種の保存は、正確にどれほど重要か？ 誰にもわからない。 種の保存が良いことであるのには賛成できるが、それは例えば、ハンバーガーより重要だろうか？ 我々はそうした選択をせまられているのである。 ハンバーガーを作るために必要な牛肉の生産は、アマゾンの森林の破壊を引き起こし、それによって種の絶滅を引き起こしている。 同様の事が他の組み合わせにも適用される。 人間の経済は、地球の生態系に深く関わる地点まで発展してきた。 今、我々の経済的決断は、生物圏のすべての部分に影響を及ぼし、生物圏の複雑な反応連鎖は我々の生活や経済に、あらゆる方向から影響を及ぼしている。

したがって我々は、何を優先すべきかを計算しなければならない。 これら六つの価値は基本的に主観的なものであり、まとめて考えることはできないので、私はそれらを切り離すことにした。 これによって、それらが感謝すべき重要な要素であって、しかも主観的に扱うしかないものであることを知ることができる。

あなたは、私が行った価値の割り当てを自由に変更することができる。

木材の伐採

Logging

木材の伐採は論議の的になる問題だが、この問題は大変多くの側面を持っているので、単純な分析を受け付けない。 ある面で、木材の伐採は我々の文明に不可欠の木材とパルプを提供してくれる。 しかし一面では、それは森林を破壊する。 多くの議論は伐採そのものではなく、使われる方法に焦点を当てている。 例えば、一区域の木をすべて切り倒してしまう完全伐採を取り上げよう。

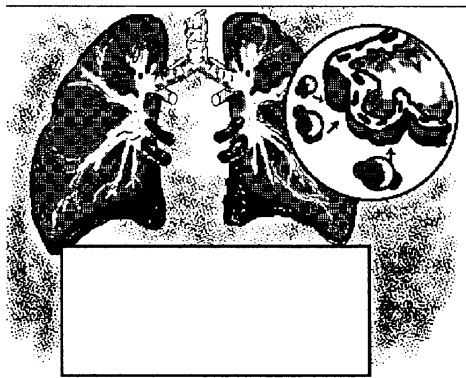
完全伐採は、木材を収穫するのに最も簡単で安上がりな方法である。 伐採者は木材を動かすための大きな土地を得られる。 しかし、これは最も破壊的な伐採法でもある。 その地域全体の生態系が破壊される。 元々あまり豊かではない土壌が、この大きな空間によって引き裂かれ、水の流れによって急速に侵食される。 再植林したとしても、完全伐採された森が元に戻るには数十年かかる。 再植林なしでは、一世紀かかるかもしれない。

広葉樹と針葉樹の伐採の影響は、分けて考えなければならない。

針葉樹ーー主に松とモミーーは、ありがたいことに成長の早い木である。 適切な森林管理と伐採計画をもってすれば、針葉樹林は20年から30年で再生可能である。 実際、針葉樹の伐採業者は森林の再建を忘れないが、これは彼らが、森が再生しさらに多くの材木を与えてくれることを知っているからだ。 しかし針葉樹は普通、寒い地方に育ち、熱帯の広葉樹林ほど豊かな生態系を養ってはいない。

広葉樹は一般に針葉樹より成長が遅く、元に戻るまで一世紀はかかる。 これはあまりに長い時間であるため、伐採者は広葉樹を扱う時に再植林を考えない。 その努力は利益にならないからである。 そのため、熱帯の大きな古い広葉樹が再生の努力をなされることなく切り倒されているのだ。 アマゾンの森では、伐採者が作るトラック道路によって別の破壊的影響が出ている。これらの道路は、密林に自給農民のための道を開いてしまうため、かれらは伐採者の通り道をたどって土地の一画を開墾し、短期間穀物を育て、土壌が枯渇すると移動してゆく。

肺病による死者

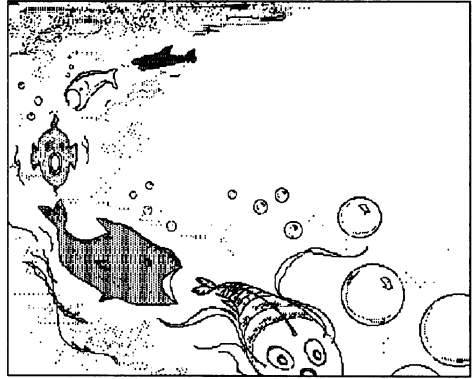
Lung Disease Deaths

人間の肺の中は、大気汚染の住み家である。 肌は空気中の毒性のある化学物質を防ぐ働きをするが、肺は化学的汚染の攻撃にまともにさらされている。 敵のリストは賑わっている。 二酸化硫黄、二酸化窒素、一酸化炭素、炭化水素、オゾン、粉塵。 それぞれが異なった形で肺を攻撃する。

二酸化窒素と二酸化硫黄は、肺の湿った組織の中で結合すると硝酸や硫酸になる。 酸は微弱だが、損傷は何年も蓄積される。 直接的な結果として気管支炎と気腫が起こる。 ぜんそくや類似の病気が悪化する。 他の病気で肺の機能が低下している人は、特に大気汚染の影響を受けやすい。 1952年12月にロンドンは「死のスモッグ」を経験したが、これはよどんだ天候によって、汚染された空気が街に止どめられて起こったものだ。 死亡者は3900人に上った。 ロンドンはすぐに付近一帯の石炭の燃焼量を減らしたが、この現象は1956年、1959年、1962年にも繰り返された。 被害は少なかったが、同様の死のスモッグがニューヨークを襲ったこともある。大気汚染が、非常に多くの肺癌を引き起こしていることは知られているが、正確な犠牲者の数を突き止めることはできない。

他にも、このシミュレーションで扱うことのできなかった、たくさんの汚染物質がある。 一酸化炭素は、ヘモグロビンという肺から酸素を運ぶ分子を破壊する。 光化学スモッグはオゾンを作る。 成層圏のオゾンは大切なものだが、肺にとっては有害である。 灰の粒子である粉塵は肺を塞ぎ、肺癌の原因と見られている。 炭化水素は、癌の原因から肺に対する直接の毒性まで、様々な影響を持っている。

これらすべての結果は単純である。 毎年数万人の人々が大気汚染か、あるいは大気汚染による病気の悪化で死んでいるのだ。

海の生物

Marine Life

海洋の生物は、おおざっぱに四つの種類に分けることができる。

食物ピラミッドの最底辺にいるのは、植物性プランクトンである（「植物プランクトン」を見よ）。 この単細胞の生物は、太陽光を生化学的エネルギーに変え、海の生物すべての基礎となっている。 1平方メートルの海水は、20万の小さな彼らを含んでいる。 それを集めると、全部で約160億トンのバイオマス（生物資源）となる。

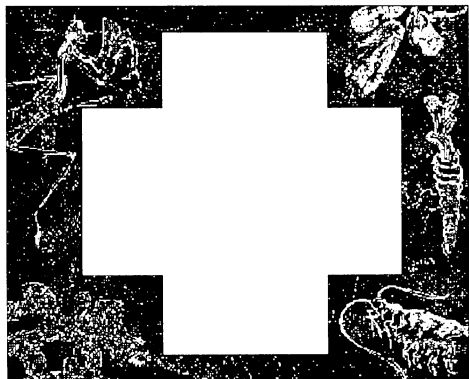
次に来るのは動物性プランクトンで、植物性プランクトンを食べる小さな生き物である。 あるものは単細胞で、あるものはオキアミや子エビである。 これを全部合わせると約15億トンのバイオマスになる。

動物性プランクトンを食べて生きている魚が、次のグループである。 そのバイオマスは10分の1で約1億5千万トンになる。

同じ基本パターンが陸上でも見られるが、数値は違っている。 植物は、約1兆トンの重さがあり、陸上のバイオマスの99%を占めている。 しかし海では、植物は全部のバイオマスの90%しかない。

植物の次に来るのは土中あるいは土の上に住む菌類、バクテリア、虫、ミミズなどの小さな生き物である。 これらは合計しても全バイオマスのたった1%にしかならない。 人間は約2千5百トンのバイオマスで、陸上の全バイオマスの0.0025%になる。 バイオマス比べでは、我々は菌類の100分の1以下でしかない。 対等に張り合えるように、せいぜいキノコを食べてがんばろう。

薬品

Medicines

我々は薬品の原料をほとんど知らない。 病気と戦うために使う、丸薬や粉薬や妙な匂いのする液体は、ハイテク化学の魔法のように見える。 薬品は科学者が研究室で作っているというのは、本当だろうか？ 実際、色々な薬の多くは研究室で作られる。 しかし我々の使う薬品の半分近くは、元をたどれば自然の有機体から得られる物質である。

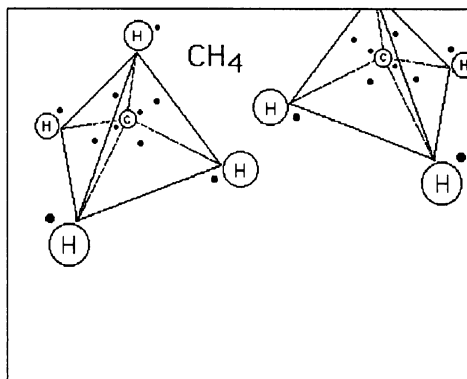
例えば、バライロツルニチニチ草を考えてみよう。 マダガスカルで発見された、この目立たない小さな植物は、ビンブラスチンとビンクリスチンという、白血病とホジキン病に対して使う二つの科学物質を作り出す。 これらの物質を元に作った薬品は、長期の生存の確立を20%から80%増大させる。 マダガスカルには、同族の植物種が幾つかある。 それらのなかには、自生地が破壊されたために絶滅に瀕しているものもある。

また例えば、ミヤオ草からはポドフィロトキシンとして知られる、睾丸癌の治療に使うことのできるエキスが取れる。 フロリダ・マナティー（海牛）の血は血友病の検査に使われてきた。

最近まで我々は、求める物質を野性の種のエキスそのものに頼ってきた。 ある場合は、その薬品を自分で処方することができた。 しかし今日我々は、遺伝子工学による生物の生化学的操作の能力を開発し始めた。 生物のＤＮＡの一定の位置で、生化学物質の切り取り、またははめ込みを正確に行えば、その生物が作り出す化合物の化学式を変えることができる。 つまり我々は、自然の種の特殊な研究室版を作り出すことができ、それによって生命を救う薬品を大量に生み出すことができる。 我々は、その薬物そのものを変形して、より使いやすいと思われる、同種の全く人工的な化合物を作ることもできる。

この可能性を実現するためには深い研究が必要だろうが、基礎はすでに築かれている。 誰かが「生化学で、より良い生活を」というスローガンを持ってやってくる日は近い。

メタン

Methane

メタン（天然ガスとも呼ばれている）は無色無臭で、非常に燃えやすいガスである。 メタンを燃やすと、水と二酸化炭素が生じるが、他の物質はほとんど出ない。 そのため、メタンはすぐれた燃料であり、実際に大量に使われている。

メタン（天然ガス）は、有機物質が空気に触れずに腐る時に作られる。 数百万年前、厚い植物の堆積が土に埋もれて腐敗した。 その結果、それらはその場の化学作用、温度、圧力に応じて、石炭、石油、天然ガスとなった。 天然ガスは、しばしば石油と一緒に発見される。 天然ガスは、刈り取った草、包装紙、腐った果物、廃材、その他の有機ゴミを集めて土に埋めておけば、人工的に作り出すことができる。 パイプを埋め込んで、メタンガスを集め、それを使えるようにしたゴミ捨て場もある。 ゴミをエネルギーにしよう、というわけだ。

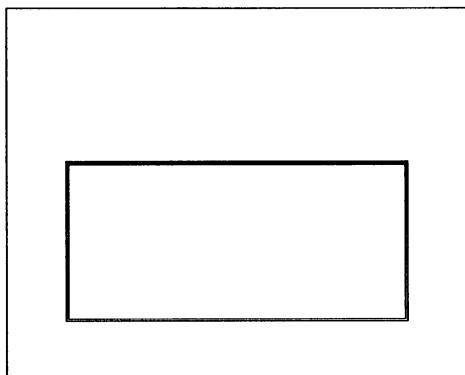
有機物が集められる、空気のないもうひとつの場所は牛の胃の中だ。 牛はメタンの”げっぷ”をする。 作り物の翼と鱗を付けて緑色に塗り、口の前にマッチを差し出せば、火を噴くドラゴンのできあがりだ。 家で試しては、いけませんよ！

土壌もメタンを発生する。 朽ちた葉や虫、その他の地面に落ちた有機物のかけらは、ゆっくりと腐り、そこで分解してメタンを発生する。 一部は地表に浸み出し、そして大気に混じる。酸性雨は土壌の化学的性質を、よりメタンが作られ易いものに変える。

湿地や水田もたくさんのメタンを作る。 そこに沈んだ有機物質は、すべて空気に触れずに腐る。 もし重い葉の茂みがあって、水面に浮き出したメタンを吹き飛ばす空気の動きがほとんどなければ、メタンは火がつくほどに溜る。 これが「沼のガス」で、ＵＦＯ報告の正体であると言われている。

メタンは無臭なのに、なぜ家で使っているガスに匂いがあるのかって？ メタンが爆発しやすいことを考慮して、ガス会社が香りを付けている。 だから匂いで漏れが分かるわけだ。

天然ガスの蓄え

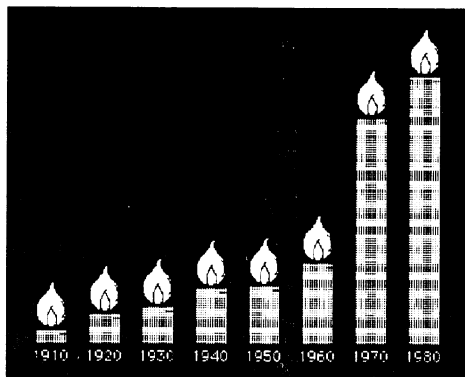
Natural Gas Supply

天然ガスは、石炭や石油と同じ化石燃料である。 天然ガスは、様々な理由で最も魅力ある化石燃料だ。 なかでも重要なことは、天然ガスが燃焼時に水蒸気、二酸化炭素と僅かの窒素酸化物しか出さず、クリーンに燃えることだ。 石炭と石油は、たくさんの不純物を含んでいて、燃焼時に多くの汚染を起こす。

天然ガスのもうひとつの長所は、扱いやすいということだ。 しかし逆説的だが、天然ガスが化石燃料の中で一番開発が遅れた主な理由は、その扱いにくさのためである。 つまりこういう事だ。 天然ガスは気体である。 石炭のように山積みしたり、石油のようにドラム缶に詰めて貯蔵できない。 密封した特殊なタンクと、パイプの装置に入れておかなければならない。 もし漏れ穴があれば、天然ガスは濃い霧となって拡がり、裸の火に出会うと爆発する。

したがって、天然ガスの取り扱いは石油や石炭に比べて難しい。 これが、今世紀の初めまで天然ガスが広く使われることのなかった理由である。 しかし、必要な技術が完成されると、途端に天然ガスは扱いやすくなった。 天然ガスは、石炭や石油のように列車やトラックで運搬する必要がない。 パイプラインに通して、バルブをひねれば、国中どこへでも送ることができる。パイプは直接人々の家に引くことができ、より効率的である。 基本的に天然ガスは、産地から家庭に直接送られ、中間の工程はほんの僅かである。

天然ガスが最も優秀ですばらしい化石燃料であることが分かっても、「何か罠はないか?」と考えるとしたら、あなたは現実主義的環境問題冷笑家の第一人者である。 天然ガスは、最も豊かでない化石燃料なのだ。 母なる自然はその無限の知恵をもって、我々に大量の不潔な石炭と、わずかばかりの清潔で効率的な天然ガスをお与えになったのだ。 たぶん、「美点は平等に振り分けるべし」と考えたのだろう。

天然ガスの使用

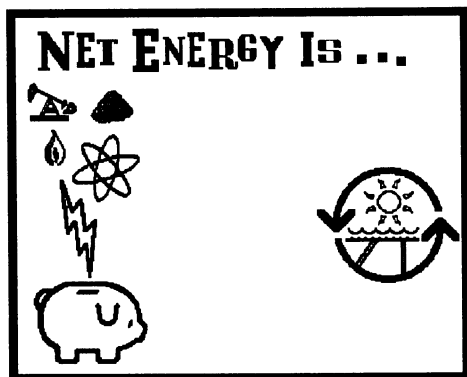
Natural Gas Use

天然ガスは、家庭でも暖房、湯沸し、調理など、様々な目的で使われている。 それらのうち、暖房と湯沸しは最も重要である。 天然ガスは、発電用のタービンや工業用のボイラーにも使われている。 その技術の多くは、バーナーとパイプを使った、極めて単純なものである。

天然ガスの使用は、最初にエイモリー・ラヴィンズによって指摘された、非常に普遍的な問題を提起する。 これは、高度な理論的問題だが重要な問題である。 天然ガスは数千度で燃焼するが、使用法の多くは、”何か”を数度温めるといったことだ。 言い換えれば、我々は高温エネルギーを使って低温の目的に用いているのだ。 高温エネルギーは高効率のエネルギーであるが、低温エネルギーは低効率のエネルギーである。 エネルギーの特性を生かせば、有効な事に使うことができる。

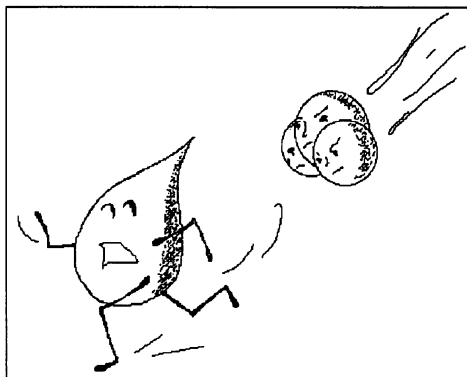
つまり、ここに問題がある。 もし天然ガスを数千度で燃やせば、家の温度を68度まで温めることができる（訳注：温度の表記は華氏です）。 これは、高品質のエネルギーを質の低い仕事に使うことになる。 これは、哲学博士にタクシーの運転をさせたり、貴重な熱帯樹林を薪にしたり、高級なクリスタルグラスをビールを飲むのに使うようなものだ。 これは賢いやり方ではない。

どんな解決法があるか？ これは議論の余地のある複雑な問題だ。 しかし面白い理論的問題である。

実質エネルギー

Net Energy

実質エネルギーは、工業全体の状態の重要な指標である。
実質エネルギーと国民総生産の間には、相関関係があることは知られている。 言い換えれば、豊かな国は貧しい国より多くのエネルギーを使うということだ。 この事の意味は、エネルギーによって富が生まれるということだ。 高度に開発された工業組織を持つ豊かな国は、工業に供給するために多くのエネルギーを使用する。
もしこれが本当なら、エネルギー問題の解決法は、より多くのエネルギーを作り出すことである。 石炭をさらに深くまで掘り、石油をもっと採掘し、原子力発電所をもっと建設しなければならない。 また、この見方に従えば、課税その他のエネルギーの使用を抑制する行いは、工業を活動不能に陥らせるものとなる。
この考え方の傾向は1970年代に一般的だったが、1980年代の経験によって否定された。 最も強力な証拠は、アメリカ、日本、ドイツの経済が、エネルギーの集約度（GNP1ドルを生み出すのに必要なエネルギー量）が減少しても、引き続き成長可能だったことだ。 日本とドイツは、1ドルにつき約10メガジュールのエネルギー集約度を持っている。 アメリカは1ドルにつき約20メガジュールである。 明かに合衆国の進歩には、考察の余地が残っている。
おかしなことに、第三世界の多くの国々は日本や西ドイツに比べてエネルギー集約度が高く、GNP1ドルにつき約18メガジュールを使っており、経済状態はますます悪くなっている。

二酸化窒素

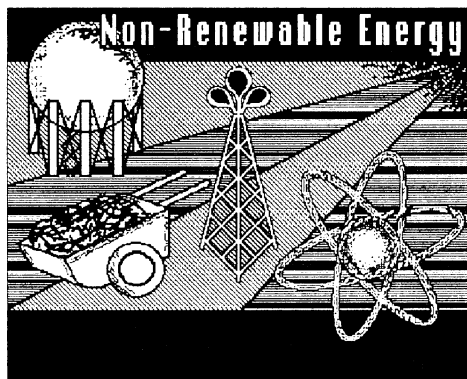
Nitrous Dioxide

二酸化窒素は窒素酸化物の一種だが、このシミュレーションでは、すべての窒素酸化物を含めてこう呼ぶことにする。

窒素酸化物は、空気中で物を燃やした時に必ず発生する。 これは、ロケット・エンジンや熔接トーチを除いて、地球上のすべての燃焼に共通する。 窒素は空気の約70%を占めており、酸素は約26%を占めるにすぎない。 何かが燃やされると、一定量の窒素が酸化される。 高温の炎の中でN_2分子は分解され、激しい化学反応によって普段安定した窒素も酸素と反応する。 ここには、あらゆる種類の変わった組み合わせを見ることができる。 窒素1個と酸素1個、窒素2個と酸素1個、窒素1個と酸素2個、あるいは他のもっと乱れた組み合わせも存在する。 この一回の反応は、なんと華氏4000度の高熱である！

ここから、これらの化合物の組み合せについて重要な事実が判る。 温度が高ければ高いほど、発生する窒素酸化物は多くなる。 もし燃焼を注意深くコントロールし、温度を低く保てば、汚染物質の発生をかなり減少させることができる。 しかし、温度を低く押さえることによって二つの問題が起こる。 もし燃焼温度を低くすれば、危険な発癌物質である炭化水素が、より多く発生する。 これは自動車から排気され、直接の毒性がある。 これを吸い込めば、あなたは20年後といわず、すぐに死亡する。

しかも燃焼は、高温であるほどエネルギー効率が高い。 これが1970年代に自動車メーカーが自社の車に、たやすく高い燃料効率を与えることのできたひとつの理由である。 彼らは、キャブレター内の空気とガソリンの混合状態や、燃焼温度を上げることを学んだ。 この再調整によって、より高い燃料効率が達成され、炭化水素の発生は抑えられたが、窒素酸化物の発生は増えることになった。 燃焼によって発生する窒素酸化物は、それほど安定した化合物ではない。一度、大気の冷たい環境に出ると、窒素酸化物は水と反応して分解しHNO_4（硝酸）となる。この水が雨となって落ちてくるとき、それは酸性雨と呼ばれる。

再生不能エネルギー

Nonrenewable Energy

実は、この言い方は正確ではない。 すべてのエネルギーの形態は、再生不能だからだ（「再生可能エネルギー」を見よ）。 「絶滅危惧種エネルギー」ではいかがだろう？

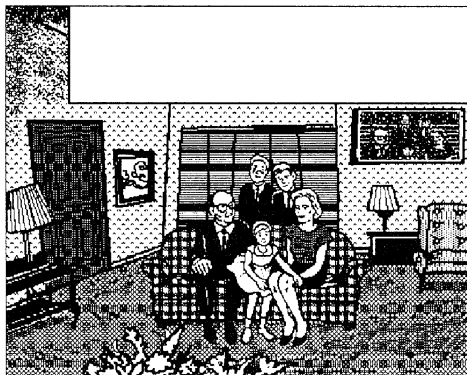
再生不能エネルギーについて重要なことは、我々がそれを早く使い切ってしまうことだ。 天然ガスの場合が最悪だ。 これは、我々が生きている間に使い切ってしまうかもしれない。 その次は石油だ。 今後30年間で供給は衰え、大きな経済的混乱をもたらすだろう。

すぐに絶滅してしまわない再生不能エネルギーは、石炭と原子力エネルギーの二つしかない。 石炭は数百年間保つかもしれない。 この予想は心の暖炉を暖めてもくれるが、健やかな肺を焦がしてもくれる。 原子力エネルギーは、燃焼炉で使えばたった50年ほどしかもたないが、増殖炉に代えれば数千年もつ（「原子力の蓄え」を見よ）。

再生不能エネルギー問題解決に、本当に大きな希望が持てるのは核融合である。 もし、このエネルギー形態が使用できるようになれば、普通の海水を燃料として使え、我々のエネルギーの必要を数百万年満たしてくれるだろう。 ひとつだけ小さな問題がある。 核融合炉は実現されていないのである。

実際それは、水爆に使われている。 しかし、我々は家を暖めたいのであって、蒸発させてしまいたいのではない。 30年以上の研究の結果、ほとんど進歩が見られない。 これは、科学者連中の想像力の欠如から来るものではない。 彼らは高温プラズマを捕まえておくための磁石の容器を作り出したが、プラズマは常に磁場からそれて逃げ出していく。 科学者は、プラズマの「脱出」を無限にぐるぐる回転させる、ループ状の容器であるトカマクを提案した。 しかしプラズマの動きは速く、新しい磁場を作ってすべてを台無しにしてしまう。 次に科学者は、巨大なレーザーで急速に連続的に起爆される小さな水爆、慣性制御炉を提案した。 彼らはまだこれを研究している。 次に低温融合炉が提案されたが、これはホラ話であることが判った。

核融合は理論的に可能である。 いつかはこれを実現できるだろう。 そして中性子放射物によって起こる、新しい種類の放射能汚染を抱え込まなければならなくなるだろう。 しかし、我々が生きている間は、商業的核融合発電所を見ることはないだろう。

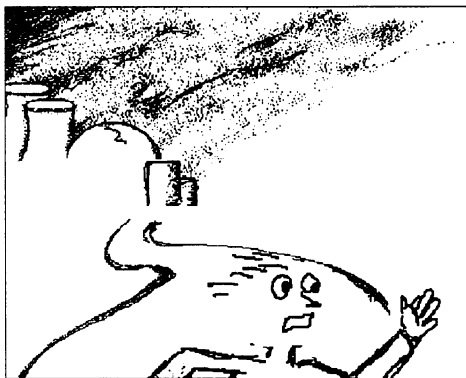
北の暮らし
Northern Lifestyle

この45年間、アメリカ人は世界政治の中心的問題は、資本主義と共産主義との対立である、との見方を持ってきた。 我々が共産主義との戦いに励んでいた間に、歴史的に根深い、より長期的な影響力を持つ問題が浮上してきた。 それは富める国と貧しい国、工業的な第一、第二世界と第三世界で、北と南の格差である。

西暦1500年に、ヨーロッパ文明が他のすべての文明より技術と経済の面で優位に立った時、記録的な拡張の時代が始まった。 続く四世紀の間、ヨーロッパ人は世界を征服し、ヨーロッパ人の富のために南の属国を貧しくした。 同じ頃、北の新しい国――合衆国、ロシア、日本――が似かよった形で成長した。

20世紀には、北による南支配は緩んだ。 属国は北の政治的支配を振り切り、経済的な自己主張を始めた。 しかし、北の国々と南の国々の間の大きな格差は残された。 世界の人口の5分の1が高い水準の生活を楽しんでいる時、5分の4の人々は基本的な衣食住を獲得するために苦闘している。

この格差は、来るべき世紀の主要な地政学的問題になるだろう。 南の国々は、北の国々に激しい怒りを抱いている。 彼らは、自分達の貧困がヨーロッパ帝国による略奪と、現在の世界経済で続いている差別によるものと信じている。 彼らは新しい経済秩序と、北から南への大きな富の移動を求めている。 いまのところ、南の国々はその要求を押し出すほど強くない。 彼らは無力で、ただ怒りと欲求不満を強めているだけだ。 しかし、彼らの地位が上がっていけば、自己を主張する力も増大する。 いつの日か、北はより強く威力を持つ南に向かい合うだろう。 断固とした要求を突き付けられた時、我々は自分達の暮らしを守ることができるのだろうか？ 我々は彼らに、何らかの責任を負っているだろうか？

原子力事故

Nuclear Accidents

人々は放射能や原子力を恐れている。 ひとつの原因は、未知のことへの恐怖で、放射能が目に見えないことが恐れをつのらせる。 避ける手だてがないことで、放射能は世界一のオバケとなる。 そのために、原子力の安全性について、猛烈で終りのない議論がなされる。 事実や数字と戦っているのではなく、恐怖や保証のなさと戦っているのだから、この議論はすでに失敗している。

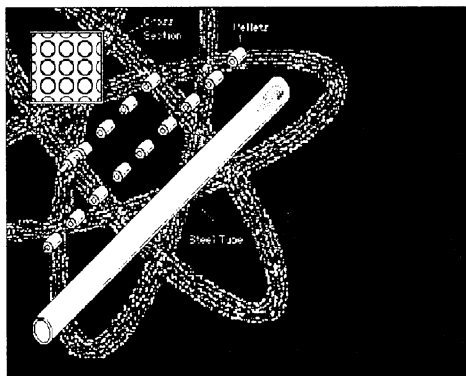
原子力の事故は、我々が信じ込まされてきた以上に、しばしば起こっている。 理論的な分析では、深刻な事故は2、3千年に一度しか起こらない事を示しているが、我々は20年間に二度の事故（スリーマイルズ島とチェルノブイリ）を経験している。 どちらも第一の原因は人間のミスで、このことは理論的分析家が言い忘れたことだった。 しかし、事故は反対派が警告するほどしょっちゅう起こっているわけではない。

事故の影響は、誰もが予想したほど深刻ではなかった。 スリーマイルズ島事故から10年、我々はまだ放射能の放出による、統計的に重大な健康への影響を見い出さなければならない。しかし唯一の注目すべき健康への影響は、ミスの率が下がったことである。

チェルノブイリ事故は非常に深刻だった。 放射能の放出という点から見て、最悪のシナリオに近い。 数ダースの人間がすぐに死亡し、さらに間違いなく数千人が癌で死ぬだろう。 しかしこの結果は、反核論者の警告を下回っている。 数10万人の死者があったわけでもなく、「ペンシルバニアの大きさの地域」に人が住めなくなったわけでもない。 それは深刻で、死者を出した高くつく事故だったが、破滅的ではなかった。

どんな結論が出せるだろうか？ 間違いなく、もっと原子力事故は起こるだろうが、それは原子力工業が学び、進歩するに従って小さなものになるだろう。 事故で放出される放射能も減少していくだろう。 しかし、人口密度の増大は原子力事故をもっと危険なものにするかもしれない。

原子力の蓄え

Nuclear Supply

これは、原子力の利益の最大の要点である。 ウラニウムは豊富な元素ではないが、我々に長期間たくさんのエネルギーを供給するだけある。 ウラニウムからどれだけのエネルギーを得られるかは、我々がそれをどう使うかにかかっている。 もしこれを普通の燃焼炉で使うと、現在の値段で約1000エクサジュールが使えることになる。 これでは少なく思えるかもしれない。天然ガスでさえ、現在の値段で約7500エクサジュールが使用可能だ。 しかし二つの別の要素がある。

ひとつはウラニウムの価格が、原子力エネルギーの価格にとってそれほど重要ではないことである。 ウラニウムに払うのは、原子力のコストの合計のたった10%ぐらいだ。 コストの大部分は発電所とウラニウムの処理にかかる。 我々がウラニウムに10倍の代金を支払ったとしても、原子力エネルギーの合計コストはまだ2倍にしかならない。 言い換えれば、我々には「10倍深く掘る」余裕があるということだ。 その値段にすれば、間違いなくたくさんのウラニウムが掘り出されるだろう。

もうひとつの要素は増殖炉だ。 増殖炉は、消費する以上の燃料を産み出す。 その理由はウラニウム全体の99.3%が「燃えにくい」からである。 燃え残りは通常の原子炉では使えないアイソトープ（U^{238}）となる。 地面から掘り出されたウラニウムのたった0.7%が、使用可能なエネルギー物質である分裂性のウラニウム（U^{235}）だ。 しかし増殖炉は「豊富な」（燃え残り）ウラニウムを、燃やすことのできるプルトニウムに転換する。 したがって増殖炉は、原子力エネルギーの供給量を100,000%以上増大させる！ 1000エクサジュールではなく、100万エクサジュール——石炭、石油、天然ガス全部を合わせたものの三倍——が使えることになる。

増殖炉はより高価で、操作により危険が伴う。 普通の原子炉では原子爆弾は作れないが、増殖炉では出来る。 これは増殖炉がプルトニウムを作るためだ。 もし、化学的に純粋なプルトニウムに手を付けたら、あなたは喜びのあまり爆弾の起爆材になるかもしれない。 これらの理由から、私はこのシミュレーションの中に増殖炉を含めなかった。 私の使用する数字は、通常の原子炉を元にしている。 しかし我々が、大量の原子力エネルギーを求めるなら、増殖炉こそ、それを与えてくれるものだ。

原子力技術

Nuclear Technology

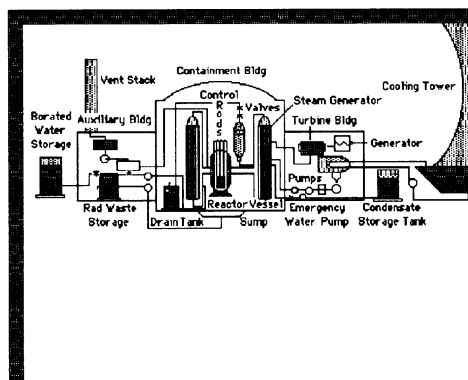
原子力技術は、広大な知的領域に関わっている。 原子炉の設計、安全設備、そして始動のための燃料処理を考えなければならない。 原子炉の設計は最も興味深く、可能なデザインには驚くほど多くの種類がある。 最も重要な問題は、中性子の制御法の解決である。 中性子は最適の効率になるように速度を落とさなければならず、そのためには何らかの物質が必要だ。

最も一般的な方法は、中性子を「軽水」とも呼ばれる普通の水の循環で速度低下させることだ。 これにはＰＷＲ（加圧水型原子炉）とＢＷＲ（沸騰水型原子炉）の二つの種類がある。 ＰＷＲは炉を加圧水の覆いで取り囲み、原子炉を冷やすものだ。 ＢＷＲでは、水は低圧に保たれ沸騰される。 また重水を使う「重水型原子炉」もあり、これはより効率的なので原子炉は小さくてすむ。 「黒鉛」原子炉は黒鉛の固まりを減速体として使い、ＨＴＧＲ（高温ガス原子炉）は黒鉛を減速体とし、冷却のためにヘリウムのような不活性ガスを使う。

液体金属高速増殖炉のデザインは風変りである。 中性子は抑制されずに動くので、高速中性子と呼ばれる。 反応密度が高いので、炉はより高温になる。 これを冷やすために液体ナトリウムが使われ、全体は燃料を豊富に「増殖」するU^{238}の覆いで取り囲まれている。

緊急炉心冷却装置（ＥＣＣＳ）や、調圧機、封じ込め構造物、補助ポンプ、クイックスタートの非常用ディーゼル発電機などの安全設備も必要だ。 これはまさに、技術のコレクションである。 原子炉は普通、配管とコンクリートからできているが、規模は非常に巨大である。 燃料の作成にはアイソトープの分離という、原爆が誰かの手に渡らぬよう注意しなければならない骨の折れる仕事も含まれる。 再処理はもっと面倒で、人々が原料に手を加える時に放射能を抑えておくための、特別で高価な設備が必要である。 そして、地下水の入らない深い塩鉱への廃棄処分も、もうひとつのやっかいな仕事である。

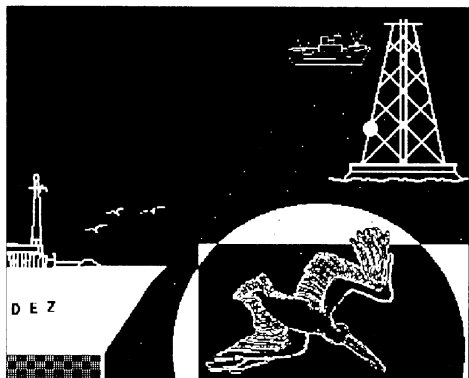
原子力の使用

Nuclear Use

原子力発電所の基本的構造は、石油や石炭や天然ガスの火力発電所と何ら違いがない。 どの発電所も水を沸騰させて水蒸気を作り、それが発電機を回して電気を起こす。 しかし、火力発電所とは決定的な違いがある。

ひとつは、原子炉は火力炉ほど簡単には止めることができないことである。 火力炉なら燃料を供給するのを止めれば、すぐに休止する。 原子炉は、一年間運転するのに必要な燃料を全部内部に入れているので、燃料の供給を止めることはできない。 その代わり、核反応を止めなければならない。 これは普通は極めて簡単にできる。 制御棒を原子炉に押し込んでやればよい。 これで反応の95%はすぐに停止する。 ホウ酸塩水（ホウ素の混じった水）を原子炉に注入してもよい。 これでも反応の95%は停止する。 あるいは、原子炉の水をすべて排水すれば反応の95%は停止するが、そうするとオーバーヒートとなり原子炉は溶けてしまう。 問題は、残りの5%の核反応を停止させることにある。 これは「崩壊反応」と呼ばれ、原子炉を停止させてから数時間熱を発生し続ける。 ところで、5%は少なく見えるかもしれないが、原子炉の出力の5%は150メガワットの熱に等しい。 その熱さはどれくらいか？ 停止したばかりの原子炉は、6千軒の家のかまどに匹敵する熱を発生する。 したがって、原子炉を停止させても、原子炉自体が溶解するほどの熱を発生することができるのだ。 崩壊反応が燃え尽きるまでには長い時間がかかり、その間数千ガロンの水を与えなければならない。

原子炉の第二の違いは、もし何か事故が起これば、炉の中の物質が高い放射性を持っていて非常に危険だということだ。 もしそれが外に漏れると、たくさんの人々が死亡する。 こうした事は石炭や石油では起こらない。

石油の流出

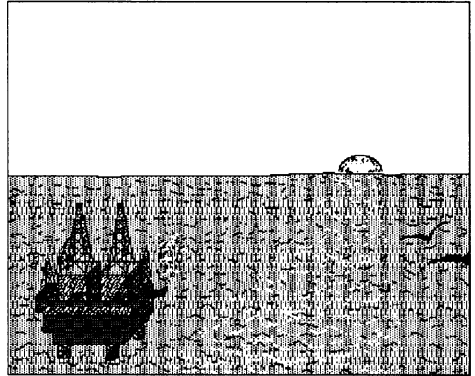
Oil Spills

ある面で、石油の流出は酸性雨と対照的である。 石油の流出は衆目を集める。 それは素晴らしく写真映りがよい。 ベトベトする油が海岸に溜り、海鳥が必死にもがく映像——やあ、なんてすごい番組だ！——の見せかけに惑わされてはいけない。 科学者は、石油の流出は短期間の災害だという結論に達した。 大きな流出は、たくさんの動物を死なせるが、数年でその数は元に戻る。 サンタ・バーバラの流出とブルターニュの流出の経験から、大きな流出事故の長期的影響は、恐れていたほど深刻ではないことが判った。 しかし入り江では、外海より被害が大きい。

流出事故の最初の被害者は、水面に浮かぶ水鳥である。 水鳥は石油に覆われて死ぬ。 水面に住む海の補乳動物もすぐに死んでしまう。 もっと被害を受けるのは、水面近くに住むプランクトンや他の微生物だ。 微生物は、ねばねばした油球につかまって死んでしまう。 それらは食物連鎖の基礎となっているため、すべての生物種の数が減少する。

しかし朗報がある。 まず、石油は生物によって分解されうる。 実際、石油はすべて細菌によって食べられ、環境から取り除かれる。 それには数年かかるが、環境汚染の進行状態は、例えば重金属や農薬によるものよりはましだ。 第二に、多くの海の生物の数は数年で損失を取り戻す。 大きな石油の流出も、海全体から見れば小さな水域に限定されている。 生物の数の減少した水域に新しい動物が入り込み、自然に元の生物の数に戻るまで、それほど長くはかからない。 海の生態系は、ほんの数年で全く元に戻るといわれている。

石油の流出はそれでも深刻な環境災害だが、もっと写真写りの悪い環境災害のいくつかとは比べものにならない。 流出事故は公衆の目に過大評価されすぎている。 しかし流出事故は海洋の油汚染の5%に満たない。 もっとたくさんの油が、都市の排水と一緒に海に流れ出ているのだ。

石油の蓄え

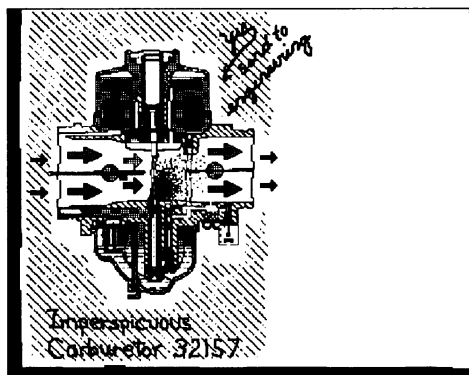
Oil Supply

石油は主要なエネルギー資源である。 我々の使うエネルギーの半分近くが石油で、エネルギーの蓄えについて見てもほぼ同じだ。 石油の蓄えはどれだけあるのだろうか？

シェル石油の科学者、Ｍ・キング・ハーバートは、1950年代にこれを計算しようと試みた。 そしてこの疑問に答える斬新な方法を発見した。 ハーバートは限られた市場での、他の再生不能エネルギーの生産の歴史資料を集めた。 彼が発見したのは、そうした資源の生産が常に目に見えて同じパターンをたどることだった。 生産は最初は少しずつだが、社会が新しい資源の利益を全部引き出すことができるようになると急激に上がる。 しかし、この急激な上昇によって資源の蓄えが枯渇し始める。 不足の結果、生産は横這いになり、そして落ち始める。 ついには生産は非常に低いレベルで安定する。 言い換えれば、資源の生産は「つり鐘型」のカーブをたどるということだ。 ハーバートは、このパターンを、様々な異なる資源について証明することができた。

次に彼は、このモデルを合衆国大陸部の石油生産に当てはめてみた。 驚いたことに、合衆国大陸部のデータは1970年に頂点を持つベル・カーブに合致した。 合衆国は石油の供給は、たったの十年ほどで下がり始めることになっていた！ ハーバートはこの研究結果を公表したが、様々な方面から拒絶された。 1963年、自然資源についての国立科学アカデミーはハーバートの予言を聞いたが、合衆国内務省副地質学長の、生産はしばらく頂点を迎えず、不足は30年では起こらないとする予言に動かされた。

1971年の石油ショックは、ハーバートが予言したものとほぼ同じだった。 我々は常に大量のアラブ石油を輸入することで、破局をかろうじて避けることができる。 そして1973年、アラブ諸国は一方的に値上げを通告した。 「エネルギー危機」という言葉は身近なものになった。

石油技術

Oil Technology

石油の技術は、石油から有益なエネルギーを絞り出し、燃やした時の放出物を減らすことに中心をおいている。 どちらの場合も焦点は、石油の大きな消費源である車と、その気化器にある。 気化器の基本構造は、その発明以降、一世紀間かわっていない。 気化器は、燃料効率と放出物の問題に応じてより複雑になったが、大きな進歩は気化のコンピュータ制御だった。

自動車の中のマイクロプロセッサーは（いろいろある中で）気温、エンジン回転数、アクセルペダルの踏み加減を感知し、最良の動作が得られるように調整する。 この技術は、やがて全ての自動車で一般的となるだろう。 燃料の直接注入は、もうひとつの見込みのある技術である。ガソリンは、正確に量られた量で直接燃焼室に噴射される。 現在のところ、利益はパワーの増大だが、この技術は効率や放出物の改善にも役立つかもしれない。

長年研究されてきた、もうひとつの考え方は、層化充填エンジンである。 ガソリンと空気の混合比は、点火の時は吸気に対してガソリンが多く必要だが、効率的に燃焼させるにはガソリンが少ない方が良い。 普通のエンジンは両者の中間をとっている。 しかし、層化充填エンジンでは、燃焼をスタートさせるために高い混合比の小さな燃焼室を持ち、混合比の低い主燃焼室によって最大の燃焼を行う。

その他にも、試みられては消えて行った技術がある。 燃料がシリンダーの外で燃える外部燃焼法は蒸気エンジンと同じ原理だが、内部燃焼より効率に欠けている。 ディーゼル・エンジンは非常に確実で燃料の経済性も良いが、たくさんの粒子を放出し、これを防ぐ方法は見つかっていない。

我々は車の重量を減少させることで大きな進歩を遂げた。 金属を軽量のプラスチックや合成物質に代えることによって、性能は著しく向上した。

石油の使用

Oil Use

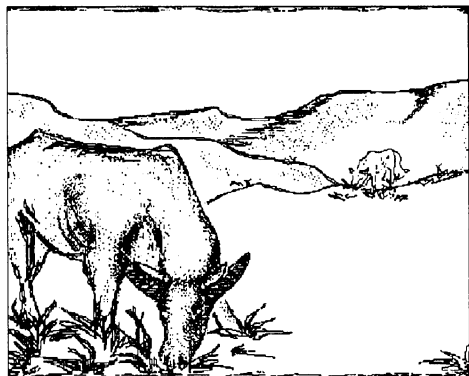
1859年に、あるアメリカの企業家が、最初の商業油井をペンシルバニアで掘った。 それ以来石油は我々の社会の重要な資源のひとつになった。 それなしでは我々の文明は崩壊するだろう。

石油は多方面に使われているが、最も多いのは乗物の燃料としての使用だ。 電池と違い、石油は軽量で、少量で大きなエネルギーを与えてくれる。 ウラニウムと違って、石油のエネルギーを発生させるエンジンは小型で軽い。 操作しやすく適度に安全で、比較的クリーンに燃焼する。 乗り物の燃料として石油を越える技術はない。

石油全体の25%は乗用車に使われている。 トラックには、別に10%が使われている。 航空機が約5%を使い、農業機械がそれに続く。 鉄道、船、バスがそれぞれ少ない比率で消費している。 つまり、石油の使用全体の半分近くが、輸送に使われているのだ。 そして自動車が最も大食いだ。 車の燃料効率を上げることができれば、どんなことでも石油使用全体に大きな影響を与えるだろう。

石油は輸送以外の事にも使われている。 石油の10%は石油火力発電所で使われている。 他の15%は、石油を使ってプラスチックや肥料やその他の合成物質を作る、化学工程に使われる。残りは暖房や工業炉といったものに使われている。

過剰放牧

Overgrazing

過剰放牧は、雨の少ない地方にしのびよる問題である。 人口増加の圧力は、同じ広さの土地に多くの人々が住むことを余儀なくさせる。 人が増えることは、その土地の家畜の数が増えることを意味する。

雨期がやってくると草は茂り、家畜の数は増える。 しかし、雨期の後には必ず乾季が続き、乾燥した土地は多くの家畜を養えなくなる。 家畜は全てを食い尽くして土地を裸にする。

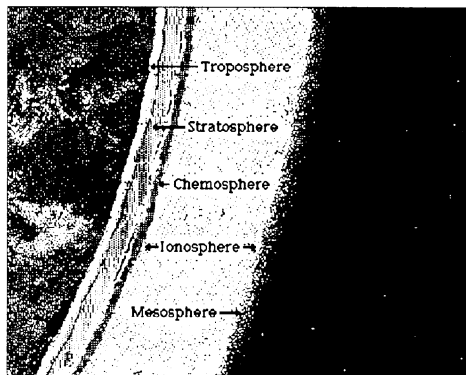
草は成熟する前の芽までむさぼり食われ、生産が減少する。 種を生じる段階まで生き残る草が少ないために、自然の種蒔きは減少する。 さらにその範囲に藁やその他の草屑がほとんど残らないために、落された貴重な種は小鳥に奪われやすい。

太った家畜は土壌を踏み固め、水と種の浸透力を減少させる。 このことは土壌の肥沃さを損ねる。 また土壌を固めておく湿気がほとんどないために、土壌は風の侵食に対してよりもろくなってしまう。

絶望的な状態になると家畜は低木の茂みや木を食べる。 こうした植物は多くの寡雨地域では水循環に不可欠である。 樹木は土壌深くに根を張り、地中の水を吸って葉へ押し上げる。 水は葉から空気中に蒸発し、しばしば夏の雷雨となって戻って来て、根の浅い草に水を与える。しかし一度樹木が破壊されると、この水循環の仕掛けは壊れ、その地方はさらに乾燥する。

つまり、過剰放牧は砂漠化を引き起こすのだ。 これによって、広い地域の気候が長期間にわたって変化する。 また過剰放牧による損害の中には、完全に回復されないものもあることが判っている。

オゾン

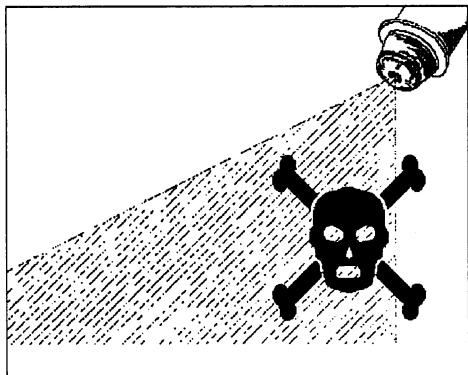
Ozone

オゾンは毒である。ほんの僅かの濃度でも、目や喉をひりひりさせる。そのため、我々が住む辺りにオゾンが漂っていては困る。しかし成層圏では、はなしは異なる。オゾンは、地球上の生物を太陽の紫外線から守る、唯一の物質である。

紫外線の光子（光の粒子）がオゾン分子にぶつかると、オゾンはそれを吸収する。成層圏には、たくさんのオゾン分子があるので、単独の紫外線光子が遥かな地上に落ちていくチャンスはあまりない。紫外線は有機分子に損傷を与えるので、これは我々にとって都合が良い。オゾンは成層圏で常に流動して、様々な化学反応によって作られたり壊されたりしている。

酸素分子は二つの酸素原子からできていて、紫外線はこれを単独の酸素原子に分けることができる。その結果できた酸素原子のひとつが、酸素分子と出会い結合してオゾン分子（3個の酸素原子）になることがある。オゾンを破壊する作用もある。オゾン分子は紫外線光子を吸収すると、酸素分子と単独の酸素原子に分解する。単独の窒素原子もオゾン分子から単独の酸素原子を引き出し、後で他の酸素原子に与え、オゾンを酸素分子に変えてしまう。塩素原子も同じ働きをする。

オゾンの生成と破壊は、常に平衡が保たれている。しかし、成層圏での単独の窒素原子の量の増大によって、オゾンの破壊反応は強められる。成層圏を飛行するＳＳＴの排気にはたくさんの単独の窒素が含まれている。また成層圏に塩素ーー言い換えればフロンーーが増えることでもこれが起こる。どちらの場合もオゾンの安定を損なうことが多くなれば、オゾン生成のバランスは崩れてしまう。

農薬による死者

Pesticide Deaths

放射性廃棄物よりも毒性のある物質があると言ったら、どう思うだろうか？ この物質の毒性は数百年や数千年ではなく、永遠に残るとしたら、どうだろうか？ この物質が工場で大量に作られており、そして地中深くに処分されるのではなく、実際我々の食物にふりかけられていると言ったら、どうだろうか！！！

これは本当なのだ。 この物質は「農薬」と呼ばれている。 農薬は毒性を持つように設計されるため、毒性を持っている。 それは害虫を殺すことを想定している！ しかし、虫に対して毒性があり、人間に全く毒性を持たないものを捜すのは難しい。

農薬の被害者には二種類ある。 最初は農業労働者で、彼らは農薬が使われる場所で直接働くため、高いレベルの農薬にさらされる。 しばしば農業労働者がそこにいる時に、穀物用の農薬散布が行われる。 もしそこに居なかったとしても、農業労働者はかなりの量を吸い込んでしまう。 適切な防御策——ほとんどの場合マスクや手袋——があれば、現代の農薬は安全に扱える。残念ながら、多くの第三世界の国々では農薬は使っても、適切な防御用具は使われない。

消費者は農薬の次の被害者である。 不適切な使用によって農薬の残留物が食物に残ってしまい、その食物の消費者は食物と一緒に農薬を摂取する。 摂取する農薬のレベルは低いが、大量の人口に行き渡ると、少数だが犠牲者を生むことがある。

いくらかの希望もある。 我々は技術が進歩するにつれて、環境中でより速やかに分解する農薬や、特定の虫に的を絞って、人間にはあまり毒の被害をもたらさない農薬を作り出す方法を知るようになった。 しかしそうした農薬が世界中で使われるようになるには、数十年かかるだろう。 例えばＤＤＴはアメリカではかなり以前に禁止されているが、第三世界ではいまだに広く使われている。

農薬の使用

Pesticide Use

農薬は1930年代に最初に紹介され、大きな農業の進歩として迎えられた。 害虫と雑草は、平均して全穀物の約30%を倒し、ひどい場合は全ての穀物を全滅させることもある。 農薬はこうした損失を取り除くことを約束した。

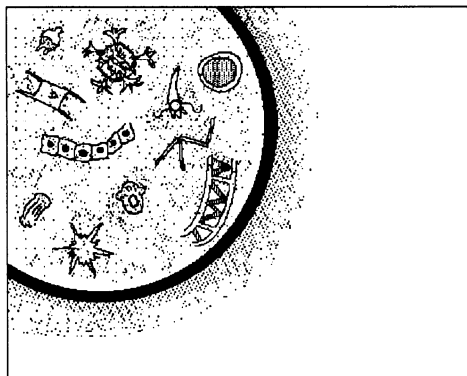
最初はそうだった。 ＤＤＴは驚くような効果で害虫を一掃した。 しかし問題はそこから始まった。

農薬は給水系統を汚染し、小鳥や他の動物を殺した。 農薬が秘密を見せ始めたのだ。 人々はＤＤＴから、他のより安全なものに乗り換えたが問題は続いた。 害虫は、殺虫剤に対する抵抗力を強め、殺すためにはより多くの毒が必要になった。 新しい安全な農薬は高価で、頻繁な散布が必要だった。 農民がそれを使うと費用は上がり、安全性は低下し、給水の汚染は増大した。 加えて農薬は、悪い虫を食べる益虫をも殺す。 もし害虫が殺虫剤から益虫より早く回復すれば、数週間後には害虫の数が爆発的に増える。

農薬に代わる様々な手段が開発されたが、「総合的害虫管理（ＩＰＭ）」もその一例だ。 これは害虫を駆除せずに「有機的」方法で許容できるレベルまで減らすやり方だ。 穀物の輪作によって、例えばウリハムシの幼虫といった土中の虫と戦うことができる。 農民は一年トウモロコシを栽培し、次の年には大豆に変えるという方法で、二年目に孵化するウリハムシの食糧供給を断ち、それによって虫を殺すのである。 間作は良好な結果が得られるもうひとつの技術だ。 別々の穀物を交互の列に栽培することによって、農民は特定の種類の雑草を抑えることができる。

生物学的操作はもっと可能性がある。 ある種のスズメバチ――例えばトリコグラマ――は、多くの穀物を害する虫の卵を壊す。 そうしたスズメバチを大量に育て、畑に放すことによって、生物学的に害虫を操作することができる。

植物性プランクトン

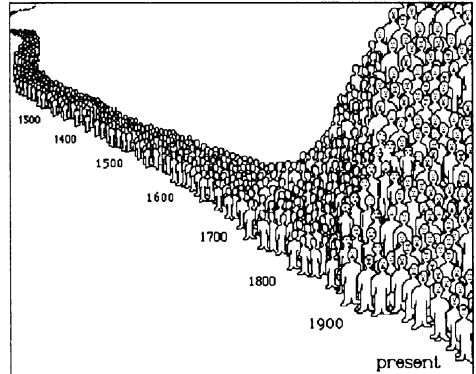
Phytoplankton

海洋の水面下、100メートルまでに住んでいる単細胞生物がいる。 彼らは太陽光を栄養源とする、植物の海洋版である。 彼らは海洋の食物連鎖の基礎であり、そこで重要な働きをしている。

もし植物性プランクトンが減少すると、海の食物連鎖の中にいる他の生物の食物が少なくなり、すべての生物の数は減少するだろう。

植物性プランクトンは、海水中に一様に散らばっているのではない。 彼らは、無機栄養素を含む海水で最も良く生育する。 これは、沿岸の沖へ吹く風と水流が水をかき混ぜ、栄養素を海底から水面に押し上げる水域で見られる。 こうした場所に密集する植物性プランクトンの量は20万立方メートルにも達する。 深海ではそれほど多くの生物は生きられない。

これは始まったばかりの研究だが、紫外線に対する植物性プランクトンの敏感さが証明されている。 紫外線の植物性プランクトンに対する破壊的な影響は、正確に見積もることができないが、紫外線がこれらの生物に有害であることは立証されている。 そこで疑いなくこう言うことができる。 オゾン層の破壊は、全ての海洋生物にとって脅威であると。

人口

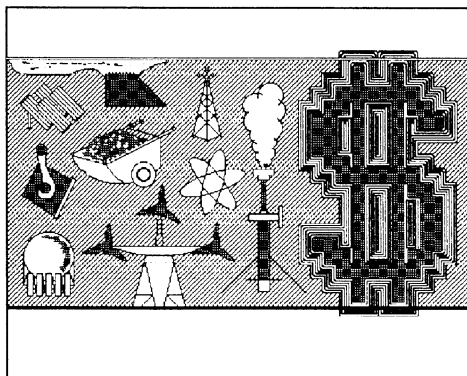
Population

最初のヒト類似生物であるアウストラロピテクスは、5百万年前に現れて約10万人に達した。二番目に登場したホモエレクトスは、人口約2百万人に達した。 そしてバグ取り（訳注：プログラムの不備を取り除く作業をバグ取りと呼びます）を済ませて、ホモサピエンスが10万年前に現れた。 氷河期の終わり、BC1万年には、その人口は4百万人に昇った。

2百万から4百万まで、2倍になるのに約9万年がかかっている。 農業の大当たりにより、倍増期間は6千年に落ちる。 人類が農業を洗練するにつれ、倍増期間は1千年にダウン。 キリスト誕生の年、世界の人口は約2億人になっていた。

そして低迷期。 勢いはやや弱まり、続く3千年間でやっと2億5千万人に到達。 1100年代に盛り返して、人口は約3億6千万人に昇る。 しかし1348年には腺ペストがやってきて、ヨーロッパの人口は25%余り減少。 世界の人口は3億5千万人に落ち込み、これを50年間回復できず。 2倍の4億人に達したのは、やっと西暦1500年近くになってからだった。 しかしこの倍増期間は1500年である。

1400年代と1500年代は急速な人口増加の時代だった。 1600年代には増加率が半減したが、1700年代には急激な成長に戻る。 倍増して8億人になるまで、たった250年ほどしかかかっていない。 そして産業革命が押し寄せ、成長はまさに爆発的となった。 人口はちょうど100年で倍増。 西暦1900年には世界の人口は16億人となった。

20世紀はヨーロッパの技術が、世界の他の部分に伝播した時代であり、その結果、人口爆発は世界に波及した。 人口の倍増期間は60年まで縮み、今や50年以下になっていると思われる。現在世界の人口は52億人である。

価格
Price

経済学の初歩で学んだ通り、価格は供給と需要によって決定される。 価格は、限られた資源を最も欲しがる、または必要とする人々に公平に分配する働きもしている。 しかし分配の公平さは二つの理由で損なわれ、その二つの間違いが多くの環境問題の原因となっている。

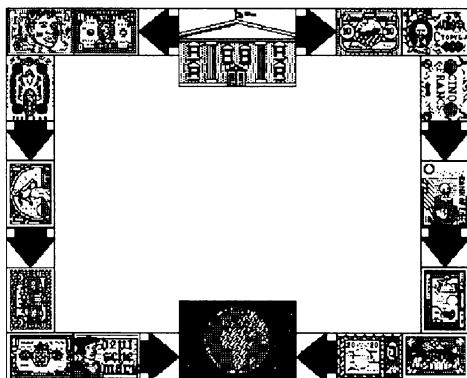
間違いのひとつは、隠された損害を伴う。 環境汚染は局部的であることは希だ。 もしあなたが、私の土地に1トンの有毒の廃棄物を捨てたら、私はあなたにそれを片付けるための支払いを求めることができる。 しかし大気汚染は、多くの人々の上に撒き散らされる。 各個人は、それぞれ僅かの被害や損害を被るだけだ。 しかしもし汚染源が大きく、汚染の実際の被害が数百万ドルに達するとしても、これを計算する価格の仕組みはない。 なぜなら汚染は薄く撒き散らされるために、被害が正確に計算されることがないからである。

二つ目の間違いは、乏しい資源の分配から起こる。 価格は需要をもとにして作られていることを思い出してもらいたい。 では正確には、誰が需要を作り出しているのだろう？ それは本当に消費者だろうか？ 物を競り落とそうとしている消費者だけが、実際に存在する消費者だというのはトリックである。 これから百年後に石油や石炭といったものを欲しがる、まだ生まれていない消費者すべてはどうか？ 誰が彼らの分を競っているのか？ 誰もいない。 もちろん、将来の値上がりを見込んで商品を買い込む投資家もいて、彼らは競りによって数年先の消費者のために様々な役割を果たす。 しかし誰が50年以上先を見ているだろうか？ 見ることのできない未来のために誰がわざわざ投資を行うだろうか？

市場は、未来の世代を冷遇する。 彼らは今日の市場に入ることを許されず、自分達に必要な商品を競ることができない。 したがって、現在のほとんどの商品の価格は、本来あるべき市場価格に比べ不自然に安いものとなる。 価格メカニズムの機能のゆがみは、我々が愚か者の天国を楽しむことを可能にしている。 これが我々が無責任にふるまう理由なのだ。

資産損失の補償

Property Damege $

このゲームでは、これは税収から支払わなければならない手数料である。 国連の政策で、あなたは自由に税金を徴収しても良いが、その代わり大気汚染による資産の損失について請求を受けたら、補償金を支払わなければならないことになっている。

大気汚染は驚くほど多くの人々に被害を与える。 問題は大気汚染の多くが、資産価値の高い都市に集中していることである。

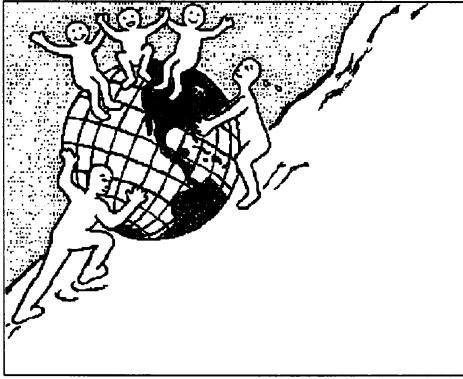
二酸化硫黄や二酸化窒素の酸は屋外にあるすべての物——自動車、ビルの壁、塗装面、橋や高速道路などの構造物——の表面に被害をもたらす。 その被害による修理や買い替えの費用は莫大なものとなる。 そのための予算は、ヨーロッパ諸国だけでも年間200億ドルになる。 全地球的な見積もりは難しいが、ヨーロッパの数値から簡単に推定して、一年で約500億ドルになるだろう。

地方的な被害もある。 木材生産の損失による森林被害は、西ドイツで年間約6億ドルにも上る。 西ドイツの農民は土壌の酸化と、その穀物生産への影響によって同じ程度の額の被害を受けている。 世界的な規模の見積もりは難しいが、約10億ドル程と思われる。

最後に、大気汚染による健康被害が上げられる。 肺疾患の発生は続き、治療の費用は莫大な額になる。 残念ながら、肺病は喫煙といったような他の原因と絡み合っていて、正確な被害額をつかむことができない。 たぶん年間数10億ドルといったところだろう。

つまり大気汚染は、実質的な経済的損失をもたらしているのだ。 法律的には汚染の加害者にその補償をさせるべきだが、この汚染被害の加害者が誰であるかを決めるのは難しい。 我々にできる最良の方法は——このシミュレーションで行っているやり方だが——燃料に税金を課し、その収入で補償金を支払うことである。

生活の豊かさ

Quality of Life

これは、このシミュレーションの中で、最も批判を受けてもしかたのない部分である。 なぜなら、これは非常に主観的な問題だからだ。

誰でも「良い生活」について自分の定義を持っている。 ある人にとってそれは、山の頂上へ歩いて登ることかもしれないし、ある人にとっては、そこへオートバイで行くことかもしれない。 第三の人にとって、それは頂上で優雅な食事をとることかもしれない。 第四の人にとって、それは単に食事をとることかもしれない。

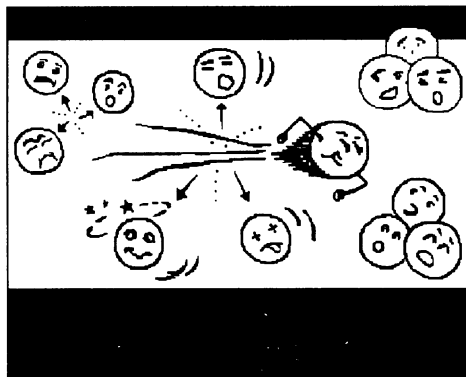
我々は皆、生活の豊かさの基本的な要件については同意できる。 つまり、衣食住である。しかしそれ以外にも、たくさんの重要な要素がある。 医療、教育、犯罪からの防衛、個人的自由、基本的所有権、仕事。 そして生活の中の楽しみ。 音楽、庭作り、ダンス、友人、文学。テレビとコンピュータゲームも忘れてはならない。 この問題は広すぎて、数量化することができないと思うかもしれない。 生活の豊かさは、たくさんの領域にまたがっているので、それを正確に説明する公式を見付けることはできない。

しかし豊かさという概念は、すべての事の中心にあるので、それを敷物の下に掃き入れてしまうことはできない。 環境問題の議論は突き詰めれば、どんな政策が最大の人々に最高の生活の豊かさを与えるかという、単純な疑問となる。 これは共通の基盤であり、すべての環境問題の議論の出発点となる。 もし、個人的な好みをはっきりさせ、生活の豊かさについて自分の偏見を明確にすることができれば、我々は環境問題についてのお互いの違いをもっとはっきりと議論できる。

問題の最も難しい面は、物質と精神を調和させることだ。 ある人は森を見て、魂を養う荒々しい自然を感じるかもしれない。 しかし別の人は同じ森を、紙パルプや家の材料としか見ないかもしれない。

このシミュレーションの生活の豊かさの公式は、物質に焦点を当てている。 精神的な面は海の生物、森林の生物、湖の生物などの項目に盛り込んである。

放射線

Radiation

放射線は誤解された現象である。 それは光の微粒子、あるいは亜電子が高速で飛び回ること以外のなにものでもないのだ。 この微粒子は分子に衝突するとそれを破壊する。

放射線は様々な形で登場する。 ラジオ電波や目に見える光は放射線だが、分子に与える損傷は極く弱い。

紫外線は、分子に与える損傷力の最も弱い放射線形態だ。 身体にそれほど急激な影響はない。しかし、もし何年もそれを浴び続けると、皮膚癌になる場合がある（「放射線癌」を見よ）。次に弱いのはX線である。 X線は身体を貫くほど強いが、進んで行く間に打ち壊す分子はほんの僅かだ。 次にくるのはガンマ線である。 これは強力な光子（光の粒子）で、ほとんどどんなものでも通り抜ける。 ガンマ線は、もしこの放射線の元から遠く離れていても身体の内部を傷付ける。 ベータ粒子は勝手気ままに振舞う放蕩者の電子だ。 アルファ粒子はもっと大きくて重い。 アルファ粒子とベータ粒子は重みがあるので恐ろしい損傷を与えるが、身体の奥深くまでは侵入できない。 実際アルファ線は数ミリの空気で遮られる。

地球上の放射線は放射性の原子からくる。 その原子核は自然に爆発して、高速で飛び去る破片を発射する。 この破片が放射線で、地球上のアルファ線、ベータ線、ガンマ線のもとである。紫外線は天空の巨大な原子炉である太陽からやって来る。

放射線量は、どれだけ多くの粒子が飛び回り、その粒子がどれだけのエネルギーを持っているかで決まる。 その健康への影響は、それがどんな種類の粒子かで決まる。 例えば中性子は何にも衝突せずに、急速度で身体を通り抜ける。 一方アルファ線は、皮膚に入り込むこともできないが、もしアルファ線放射物質の粒子を吸い込んだら、たやすく肺癌が引き起こされる。

放射線癌による死者
Radiation Cancer Death

放射線は分子を傷付ける。 その分子があなたの身体の中にあるものだったら問題だ。 身体は結局、化学的な仕事をする複雑な生化学工場で、その分子を必要としているのだ。 ありがたいことに分子はたくさんあるので、少しばかりだめになってもまだ余裕はある。

しかしもし、たっぷりと放射線を浴びたら、身体の化学作用は損なわれて病気になり、場合によっては死ぬかもしれない。 これは放射線症と呼ばれる。 しかし原子炉の中を散歩したり、チェルノブイリ原子炉を片付けたり、放射性廃棄物を数ポンド食べたり、一日に胸部X線写真を数千枚撮ったりして、極端に高い照射量に曝されない限り心配はない。

もし、僅かな放射線がＤＮＡ分子の特定の場所に当たってしまう（実際は、放射線が水の分子に当たりＯＨ基を作り、それがＤＮＡに当たる）と、細胞の遺伝子構成が変わる。 普通それで細胞は死ぬが、ごくまれに細胞がＤＮＡに遺伝子の変化を留めたまま、何世代もの細胞分裂を通じて生き残り、結局、子孫の細胞が癌になってしまうことがある。 つまり、放射線は癌の原因となる。

どれだけの放射線を浴びたら癌の原因になるのだろうか？ 研究に多大な努力が払われたが、すべての照射量についての明瞭な結論は得られていない。 もし短時間に500レム（普通の医療用X線は約10分の1レム）を浴びたら、放射線症で死ぬ確率は50%である。 一年に100レムの照射を浴びたら、1%の確率で癌になる。 この割合を低レベルにも当てはめることができるかどうかは分からない。

どうすれば良いか？ できることはあまりない。 個々の人が放射線による癌にかかる可能性は、心配するほど高くない。 しかし公衆衛生に責任ある政策担当者の視点から統計的に見ると、それは深刻な問題となる。

放射性廃棄物

Radioactive Waste

これは論議を引き起こす項目だ。 私は強い立場に立とう。 放射性廃棄物の処理はまやかしの問題である。

放射性廃棄物処理の技術は10年以上前から分かっている。 放射性物質を鋼鉄の缶に詰めて、地下数千フィートの塩床に埋めるのだ。 何故塩床か？ もし塩があれば、そこには非常に長い間水がなかったということになるからだ。

地下水は、放射性廃棄物処理にとって命取りだ。 もし地下水が触れると、放射性物質は水の流れにそって運ばれ、いつ誰がその水を地表に汲み出さないとも限らない。 ゆえに、放射性廃棄物にいかなる地下水も触れさせてはならない。

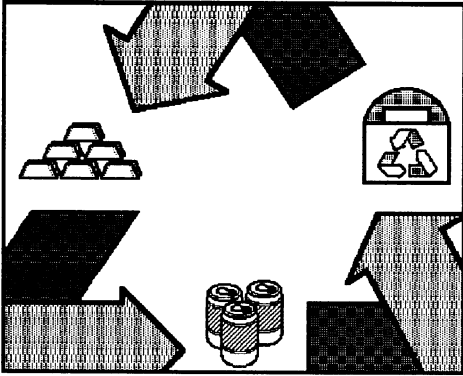
「しかしどうして数百万年もの間、そこに水が流れないと確信できるか？」というのが一般的に湧いてくる疑問だ。 答はこうだ。 数百万年もそれを隔離しておく必要はない。 なぜなら、ほとんどの放射性物質は数百年で自然崩壊してしまうからだ。

本当に難しいのは、採鉱活動によって岩構造が損なわれ、塩床への水の侵入が起こらないことを絶対確実にすることだ。 これは埋め立ての時、全体をセメントで覆ってしまえば済む。これには絶対の完璧さが要求されるが、特別な技術はいらない。

「それじゃあ伺うが、放射性廃棄物処理がそんなに簡単なら、なんでいまだにひとつも処理場がないのかね？」 それについては、技術の問題から政治に話を移さなければならない。 安全かどうかに関係なく、誰も自分の裏庭に処理場を作って欲しくはない。 誰でも、その物質をどこかよそにやるように要求して動かない。 その間、廃棄物は放射の危険の遥かに大きい、一時的な保管場所に積み上げられている。

これを自分の目で確かめたければ、「現代物理評論（Review of Modern Physics）」Vol. 50、No.1（1978年1月）に掲載された、アメリカ物理学会の報告を読めば良い。

再生アルミニウム

Recycled Alminum

アルミニウムは優れた物質である。 丈夫だが軽量で、成形しやすく、腐食に強い。 それは間違いなく素晴らしい金属で、飛行機、飲料容器、自動車、その他の多くの分野で使われている。

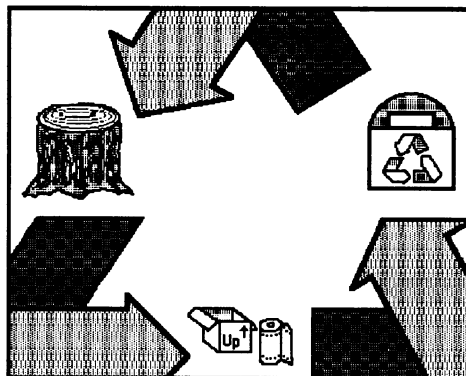
ありがたいことに、アルミニウムは地球に豊富に存在する。 ありがたくないことに、鉱石（ボーキサイト）をアルミニウムに精練するには莫大な量の電気が必要になる。

アルミニウム精錬のエネルギー・コストは高く、生産の主な足かせになっている。 近くに鉱石を処理するための充分な発電設備がないために、採掘されない豊富なボーキサイト鉱床がたくさんある。 しかしアルミニウムの再生は、精練よりエネルギーの消費が遥かに少ない。 つまりアルミニウムの再生は、エネルギーを節約する方法なのだ。

残念ながら、アルミニウムの再生は能力不足に悩んでいる。 分析家は、古アルミニウムの80%は再生できると見積もっているが、世界全体の再生率は僅か30%である。 オランダは再生率が40%に達するが、合衆国の再生率は28%にすぎない。

アルミニウム再生の増大を助ける様々な方法がある。 ひとつは「逆自動販売機」で、消費者が空のアルミ缶を入れると、現金やその代わりとなる伝票が出てくる装置だ。 購入したアルミ缶を消費者が返却しなければならない、「返却法」は多くの州で成立している。 ニューヨークの場合、この法律で清掃費が5千万ドル、エネルギーコストが5千万ドル、ゴミ集積費が1千9百万ドル節約された。 いくつかの工業国では、家庭でゴミを分別することが求められており、ゴミ収集業者はゴミを種類別に集めることができる。 一方カイロでは、ザバリーンと呼ばれる人々がゴミを集めて家に持ち帰り、そこで分別して有機ゴミは豚に食わせ、その他の素材は再生業者に売っている。 この方法は能率的で自給的だが、都市のゴミの約半分を集めるにすぎず、労働集約的な方法である。

再生紙

Recycled Paper

多くの人は、紙の再生が木の節約になることを知っている。 どれだけ節約になるか知ったら驚くだろう。 なんと、紙再生計画で毎年約50万ヘクタールの森林が節約できる。

しかし、まだかなり改善の余地がある。 現在我々は紙全体の25%を再生している。 これを50%に上げるのはやさしい。 第二次世界大戦中多くの国がそうしていた。

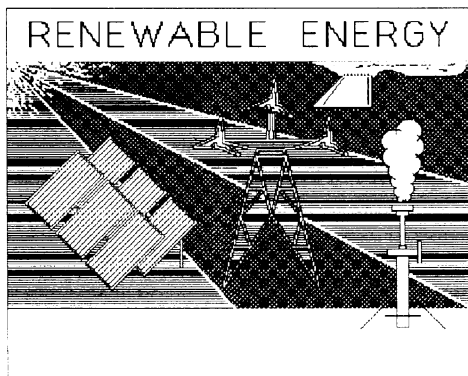
紙の再生には他の利益もある。 再生紙パルプは汚染を減らし、資源の消費を減らす。 紙製造のエネルギー・コストの50%、水の使用の60%が節約でき、汚染をかなり減らすことができる。

しかし紙の再生が生む最大の節約は、ゴミ処理用の土地である。 紙の再生には1トンあたり約30ドルの価値があるが、収集コストは1トンに約30ドルかかる。 ここには全く利益はない。 しかし多くのアメリカの自治体は、ゴミを埋め立て地に処分するのに1トンあたり100ドルを使っている。 もし紙再生とゴミ処理を結び付ければ、都市は再生会社に代価を払って、双方が儲けを得るだろう。 残念ながら、これには消費者という第三者の協力者が必要で、彼らは紙を分別しなければならない。 消費者の目をこの計画に向けさせる確実な方法を見付けるのは、まだこれからだ。

そして、ゴミをエネルギーにする焼却業者がいる。 都市はゴミを焼却業者に売り、業者は燃えやすいゴミを燃やして発電を行っている。 もし紙が不足すれば、焼却業者は利益を生むだけの燃料を手に入れられなくなる。 燃料としての紙の価値はパルプとしての価値の約半分でしかないが……

紙を多く再生すればするほど、再生の価値は減少する。 これはパルプ工場の各工程で繊維が壊れ、出来上がる紙の質が落ちるからだ。 今のところこれは問題ではない。 たった25%しか紙を再生していないので、75%の紙を完全に再生工場へ送ると、再生された紙は在庫を増やす元になる。 再生率を上げるほど再生紙は2倍、3倍に増えて行き、全体の質は低下するだろう。

再生可能エネルギー

Renewable Energy

再生可能エネルギーとは、エネルギー所得——資源を枯渇させることなく毎年安定して得られるエネルギー——である。これには二つの基本形態がある。地熱エネルギーと太陽エネルギーである。

厳密に言えば、再生可能なエネルギーというものはない。どんなエネルギー形態でも消耗が起こる。地熱エネルギーは、地球内部の放射性物質の崩壊による熱から得られる。

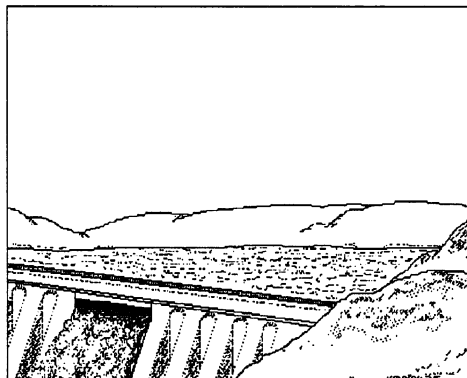
数百万年後、地球は冷え、地熱エネルギーは再生可能ではなくなってしまうだろう。数10億年後、太陽が死ねば太陽エネルギーはなくなるだろう。ありがたいことに我々はこうしたずっと先の事をまだ考えなくてもよい。

地熱エネルギーは、もし安全に、クリーンに、安く地表へ引き上げることができれば、それを電気に変えることができる。地熱エネルギーの使用には、地下水が頼りになる。水は熱い岩盤に浸透し、蒸気に変わる。熱い岩盤に井戸を掘れば、蒸気を噴き出させ、それを直接発電機を回すタービンに送り込み、電気を作ることができる。もし地下水がなかったら、熱い岩盤にポンプで水を送り込まなければならない。ただしどちらの方法も、噴き出してくる蒸気にはH_2S（腐敗卵ガス）といった汚染物質が含まれている。悲しいかな、地熱エネルギーでさえ完全ではない。

太陽エネルギーの最も直接的な形態は、太陽光電池や太陽熱温水器などだ。太陽エネルギーの間接的な形態には、太陽のエネルギーで生じる天候の変化から得られる、水力発電や風力発電などがある。海水熱エネルギーも海の表層にある太陽の熱に頼るものだ。

太陽エネルギーも地熱エネルギーも必要としないエネルギー形態がひとつある。海岸の入り江にダムを作ると、月の軌道のエネルギーが元で発生する、潮のエネルギーを得ることができる。この方法は月の軌道を衰えさせ、月が地球に近付きすぎて、地球の引力が月の一部を引き裂いてしまう日を早めることになる。しかし結局その日はおそらく太陽の死んだ後になるだろうから、どうでもよいことだ。

貯水量

Reservoir Capacity

雨水の供給が豊富で確実な場所は、ほんの僅かしかない。 熱帯雨林と、北アメリカ北西岸の狭い北部雨林だけだ。 ほかの地域ではどこでも、雨は確実な資源ではない。 ある場所では雨は一季節だけ降り、一年の残りの期間は乾いている。 周期的な旱魃のために、雨が年毎に増えたり減ったりする地域もある。

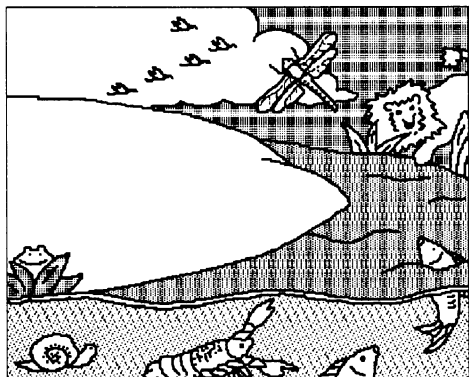
人類はこの問題を三つの方法で解決してきた。 最も古い方法は、遠い山脈から来る川から潅漑用水を引くことである。 山の雪解け水は、川に長い夏の間も衰えない安定した水流を供給する。 これは暑い乾燥した河谷にあった最古の文明——ナイル、ユーフラテス、インダス、揚子江——で使われた。

皆が使えるほど大きな河谷がなければ、別の解決法が発見されなければならない。 川をせき止めれば、乾季に放出するために雨季に水を蓄える貯水地ができる。 これには高度の技術が要求されるが、今世紀の初めにそれが確立されるとダム建設は大流行になった。 新しい貯水地はカリフォルニアのセントラル・ヴァレーの豊かな農業と、深南部の都市の発展を可能にした。

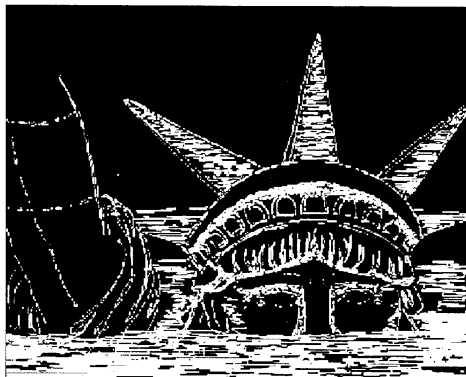
貯水池に蓄えることのできる水の量は地形によって決まる。 最も良いのは狭い出口を持つ、すり鉢型の地形だ。 出口をさえぎる短いダムで莫大な容積を囲い込み、大量の水を蓄えることができる。

すべての貯水地の敵は沈泥である。 川は泥を運び、泥は川岸や川口に沈澱する。 しかしダムにせき止められると、泥は貯水地の底に堆積してゆっくりと貯水地を満たしてゆく。 最後には、貯水地は完全に泥に埋まって使えなくなってしまう。 こうなるには普通百年ぐらいかかるが、森林破壊などの活動によって山の土壌侵食が急激に増え、泥が川にあふれ出すこともある。 新しく作られたダムが、予想しなかった土壌侵食によって、30年で使えなくなることも、しばしばある。

川辺の生物

Riparian Habitats

様々な種類の、たくさんの生き物が、地球上の一定の場所に群がっている。
サンゴ礁は、地球上で最も豊富で、最も複雑な生態系を誇っている。 海の河口は驚くほど高い割合の海の生物に、産卵場所を提供している。 湿った熱帯林は最も生物の豊富な場所で、地球上の生物種のおよそ半分を養っている。
これら生物の分布を決めているのは普通、水と陸との組み合わせである。 どの場合も、一定の土地とたくさんの水が、生き物の生活のために理想的な場所を提供し、生物は驚くべき繁殖数でそれに答えている。
世界中の乾いた地域では、川がこの優れた生息地の小型版を提供する。 川は多くの場合、乾燥地の生態系の中心になっている。 最も豊富で良く茂った植生は川の間近にある。 川岸の泥には甲殻類や両性類や昆虫が群がっている。 水そのものは、様々な種類の水生生物を養っている。 鳥や哺乳類は水を飲み、食物を得るために川へやってくる。 つまり、川自体はたくさんの生態系を持つ地表面のごく一部を占めるにすぎないが、それら生態系の中心となっていることが多いのだ。 もしこの生息地が破壊されれば、川の廻りの土地は直接に被害を受けるだろう。

海面

Sea Level

地球の気温が上がると、海面は上昇するだろう。 どれだけ上がるかは分からない。 数多くの要因が働いているが、目立ったものは極地の万年雪の融解である。 北極の万年雪が溶けると大量の水が海に入る。 しかし南極の万年雪は、温暖化した地球が南極により多くの雲を運び、より多くの雪を降らせるために、増大するだろう。

もうひとつの要素は、すでにある水の膨張である。 水は僅かだが圧縮や膨張を起こす。 海洋は非常に深いので、小さな膨張でも海面の重大な上昇を引き起こす。 もし地球が温暖化するなら、これは海面上昇の有力な要因となる。

海面が上昇するとしても、その過程はゆっくりとしたものだろう。 潮が年毎に段々高くなっていく。 多くの国々は、単に重要な地域に堤防を築くだろう。 対応のできない国もあろう。 例えばバングラディシュは、国土のほとんどが低いデルタ地帯である。 国土の40%は海面から10メートル未満で、数千マイルにわたって二次的な川底が堤防を作っているが役には立たない。 モルディブはインド洋にある人口20万ほどの島国だが、海面がたった3メートル上昇しただけで完全に水に浸かってしまう。

世界でも最良の農地のいくつかは、ナイル河、揚子江、ガンジス河など、世界有数の大河の三角州にある。 これらの土地の多くが、その地域の地下水面への塩水の侵入に脅かされるだろう。 そうなれば地球の食物生産は落ち込むだろう。 このシミュレーションでは、農地の広さの計算にこの要素を入れていない。

その他に海岸の都市を守るための数10億ドルの出費は、海面上昇による重大な経済的影響となる。 そうした努力の費用を計算する項目は、設けることができなかった。 その代わり、「浸水」をこのゲームの中の独自の減点項目として残しておいた。

海産物

Seafood

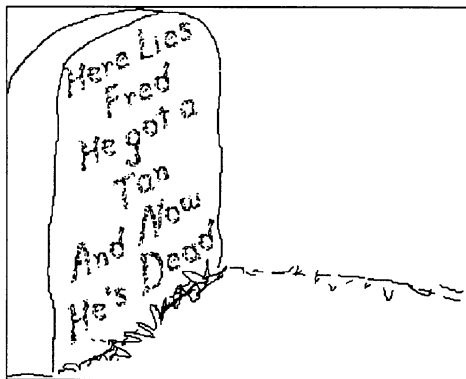
海は、長い間人類の安定した食物資源だった。 水揚げされる魚や甲殻類は豊富なタンパク質を持ち、農業社会の人々に貴重な栄養を補ってきた。 しかし困ったことがある。 人類は海洋の食糧供給能力の限界に到達してしまったのだ。 全漁獲量は1950年代と60年代に、技術の発達によって急上昇し、魚資源のなかの巨大な部分を捕獲するようになった。 約7千万トンという水揚げのピークは1972年に達成されたが、資源の回復の限界に達してしまったので、それ以来更新されていない。

現在、我々の海の生態系に対する理解は不十分なため、資源全体を危険にさらすことなく獲りうる、最適な漁獲量を判断することはできない。 我々は資源の衰退に向かって、様々な魚の乱獲を繰り返している。 ブラックユーモアのセンスを大いに持っている人には、こうした行為は自分自身を食べるようなものに見えるだろう。 巨大な船団が絶滅に瀕した魚を乱獲する。 漁獲量が減って漁業は割の悪いものになる。 そして一部の漁業が破綻し、魚の数はまた回復し始める。 これは決して海から収穫を得る最良の方法ではない。

ありがたいことに、この問題は解決不可能ではない。 被害の大部分は資本集約的な国有船団によるもので、規模が大きく、収穫最適化のための規制を促進する強い動機を持っているために規制しやすい。 魚の数と生態学の慎重な分析が、各魚種の厳密な割り当ての実行に結び付けば、全漁獲高は1億トンに増大するだろう。

まだ、漁獲がどのように使われているか、という疑問が残っている。 海産物の約3分の1は家畜－－多くは豚－－の飼料か、肥料としての魚肉に加工されている。 これは貴重な食物資源の投棄と見ることもできる。 いまのところ経済は、この資源をより人間向けに使う助けにはなってくれない。

皮膚癌による死者

Skin Cancer Deaths

皮膚癌は、癌の最も一般的な形である。 また最も治療し易い癌でもある。 ほとんどの皮膚癌は、20分の時間と局部麻酔があれば、簡単な手術で容易に取り除くことができる。

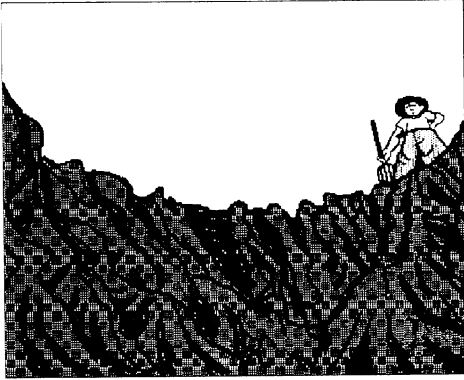
皮膚癌は目に見えるので、危険になる前に発見される。 こうした悪性腫瘍の多く（全てではない）はゆっくりと進行するため、診断や治療の時間は十分にある。

しかし、皮膚癌は長い間治療せずにおくと、転移（身体の他の部分に広がる）することがある。 そうなると治療は大変難しくなり、患者の生存の見込みははっきりしなくなる。

皮膚癌は、太陽に曝されることに密接な関係がある。

皮膚癌は長時間外で過ごす農民や船員や、日光浴好きの人々に最も多く見られる。 これは彼らが紫外線の被曝を受けるためである（「放射線癌」を見よ）。

皮膚の色素も皮膚癌の要因となっている。 色素が少なく明色の肌を持つ人々の方が皮膚癌にかかりやすい。

土壌侵食
Soil Erosion

地球の陸地は、平均6〜8インチの厚さの表土層に覆われている。 この層を剥ぎ取ってしまえば、地球が生物を養う能力は損なわれる。

土壌は複雑な物質である。 穀物を養う力は栄養の蓄え、有機物の構成、水の保持力と水はけ、その他たくさんの要素からなる土壌の性質によって決まる。

栄養分の補充は不可欠である。 現代では土壌に不可欠の栄養分を補うために肥料が使われている。 しかし肥料は、最も重要な栄養である窒素とリンを補充するにすぎない。 これを与えるだけでは、土壌の生産性をいつまでも保つことはできない。 実際土壌は枯渇してしまう。

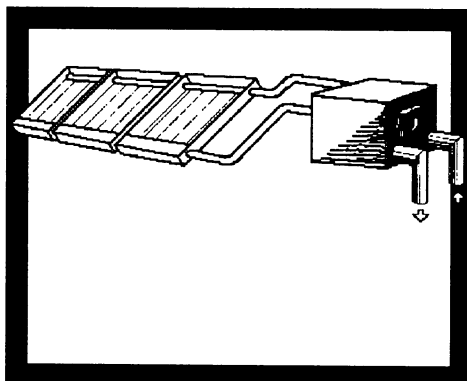
土壌の水保持と水はけの能力は、農業の生産性に影響する。 砂の土壌は水を保持できず、そのため大量の潅漑用水を必要とする。 粘土質を多く含む土壌は、たくさんの水を保持しすぎて、簡単に水浸しになってしまう。

土壌は自然の過程でゆっくりと作られる。 天候とそこに繁殖する植物の両方が、土壌の構成を決める。 土壌は自然の侵食作用によっても失われるが、人間の農業活動が土壌の侵食を早めており、そこに問題が存在する。

険しい斜面での農業は、土壌侵食の大きな原因となっている。 農民は土壌を保護する雑草の覆いを破壊する。 そのため土壌は雨や潅漑によって洗い流されてしまう。 平地でも、潅漑は土壌の栄養分の多くを含む、貴重な土壌の粒子を運び去ってしまう。 貴重な粒子は風によっても失われる。

昔、農民は枯渇した土壌を放置して、栄養分が回復するまで数十年使わずにおくことができた。 しかし、食糧の需要は多くの潅漑と、穀物の輪作の実施と、休閑期間の短縮によって、より高い生産性を絞り出すように彼らを仕向けている。 結局、短期的な収穫の増大のために、長期的な農業の生産性を破壊しているのだ。 我々は一年に0.7%の割合で土壌をだめにしている。 現在の率でいくと、たった140年で土壌はすべて失われる。 つまり、農地も食糧もなくなるということだ。

太陽エネルギーの使用

Solar Energy Use

太陽エネルギーは理論上、無限の資源を提供する。 太陽から出力されて地球が受け取るエネルギーの量は、17京6千兆ワットに等しい。 6秒毎に、1エクサジュールのエネルギーを受け取っていることになる。 もし地球にぶつかる太陽エネルギーをすべて開発することができれば、人類が一年間に必要なエネルギー全部を、たった34分で集めることができる。 しかし太陽から来るエネルギーをすべて捕まえる方法はない。 しかし、その一部を掠め取ることはできる。

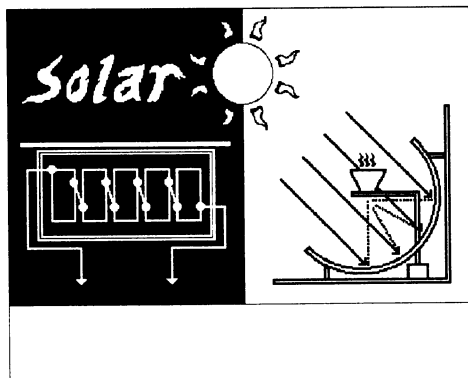
太陽熱温水器はうんざりするほど単純だ。 銅のパイプを銅の薄板に溶接して黒く塗り、ガラス箱に仕立て屋根に載せる。 そしてこのパイプに水を通す。 太陽光は銅を暖め、銅は水を暖める。 エンジニアも必要ではない。 配管工（手間賃の安いエンジニア）が取り付けてくれる。太陽温水器で、一ケ月の温水費約80ドルの節約になる。 冬は使用をやめ、水を抜き、電気温水器を使う。

太陽熱暖房はもっと難しい。 実際の装置は、温水パイプでできた太陽熱収集器を屋根いっぱいに取り付け、温水を家に引き入れて暖めるものだ。 この仕事をやらせるには大量の熱収集器と大量の水が必要だ。 エネルギーを節約した分を、水をポンプで循環させるためのコストが相殺してしまう。 曇りの日には普通の暖房器具を使わなければならない。

消極的なデザインの方が、より確実だということが分かっている。 まず、窓が最大限太陽の利益を得るよう慎重に家の向きを決める。 窓は熱を逃がさないように、二重または三重のガラス張りにし、夜は熱を保たせるよう厳重にカーテンを閉める。 落葉樹は、夏は影を落として家を冷やし、冬は葉を落として日光を家の中に入れる。

太陽熱温水器と暖房器は今は妥当な値段だ。 技術革新の為の研究を要せず、汚染を発生せず、我々のエネルギー使用全体の10%を満たす。 最大の障害は怠慢と無知である。

太陽エネルギー技術

Solar Technology

太陽エネルギーは豊富だが、拡散して——おおよそ1平方メートルに1キロワット——存在している。もし、大型原子力発電所と同じほどエネルギーを作るには、百万平方メートルの土地と、一日中雲に遮られることのない日照が必要になる。雲や太陽の動き、そして多くの太陽エネルギー技術の無力さを考え合わせれば、最低1億平方メートルの土地が必要だろう。

しかし、もし太陽エネルギー収集器を屋根に置けば、土地使用の問題や電線や電力会社の経費は除外することができる。

最も興味をそそられる技術は、日光を電気に転換するシリコンチップの太陽電池だ。1950年代には、太陽電池を実用にするには高すぎた。最近値段は急激に下がってきたが、1キロワット時で30セントもかかり、まだ普通のエネルギーの10倍である。現在これは、送電線の設置代が高すぎる場合のみ使われている。高値の原因は、夜間や曇りの日にエネルギーを供給するためのバッテリーと、低圧の直流を高圧の交流に変換するインバーターの値段による。

その他の太陽エネルギー技術は、鏡付きのボイラーが中心で、これは蒸気でタービンを回して電気を起こすものだ。実験的太陽熱発電所は南カリフォルニアにあり、1キロワット時につき8セントで発電を行っている。

風変りな技術も色々ある。ＯＴＥＣ（海洋熱転換エネルギー）は巨大な発電所を浮かべて、海の表面から暖かい水を、深い底から冷たい水を吸い上げ、温度の違いを利用して発電タービンを回すものだ。

風力エネルギーはもうひとつの間接的利用法だが、まだ高くつき過ぎ確実性がない。

これらの技術の問題点は、どれも太陽エネルギー——元々の低質なエネルギー形態——を電気という高質なものに変換しようとしていることだ。変換の効率の悪さは克服しがたい。より良い戦略は、太陽エネルギーを、そのまま暖房や温水といった、低級な利用法で利用することだ。

南の暮らし

Southern Lifesyle

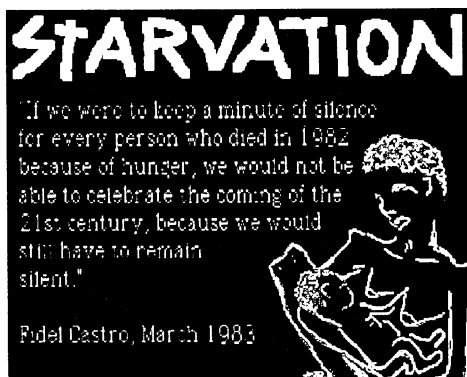
ここでは、北の工業国と南の低開発国の生活水準の違いについて書こう。 第三世界の平均的市民の収入は、一年に700ドルである。 北の人々の平均収入は、一年に8000ドルだ。 貧富の差が第三世界では西側諸国より遥かに大きいために、現実にはこの平均数字よりさらに悪い。

合衆国では、トップの5%の人々の収入は、底辺の20%の人々の5倍にすぎない。 しかしブラジルでは、トップの5%の人々の一人あたりの収入は、底辺の20%の人々の30倍以上もある。

多くの第三世界の人々は、必要なカロリー摂取量の90%以下しか食べておらず、数百万人が飢餓の崖っぷちをよろめき歩いている。 4千万の人が毎年、飢餓やその影響で死に、さらに数百万人が病弱で生産的な生活を送れないでいる。 市街地域の外には、基本的公衆衛生は存在しない。 ある報告によれば、世界保険機構（WHO）の調査で、病院のベッドの数よりも水道の普及のほうが健康状態の指標になることが分かったという。 アフリカやアジアでは、平均寿命は40歳から50歳の間である。 ガボン共和国では女性の平均寿命は25歳である。

識字率は第三世界の多くでは20%以下にとどまっているが、これは子供の半数以上が小学校に行かないためだ。 第三世界の国々はほとんど大学を持たないので、最優秀の子供達を西側の大学に送り出すが、彼らは西側に残ることを選ぶ。 つまり、より進んだ西側の経済が、第三世界の最もかけがえのない資源である、最優秀の若い人々を奪っているのだ。

飢餓

Starvation

飢餓について見てゆく時、まず重要なことは、そのとてつもない量である。 毎年4千万人の人間が飢餓によって死んでいる。 これは、第二次世界大戦中に死んだ人間の数に匹敵する。 またこれは、広島の死者の400倍にあたる。 一日に5千人が死んでいるのだ！

この数の大きさのために、飢餓を一言で説明するのは困難である。

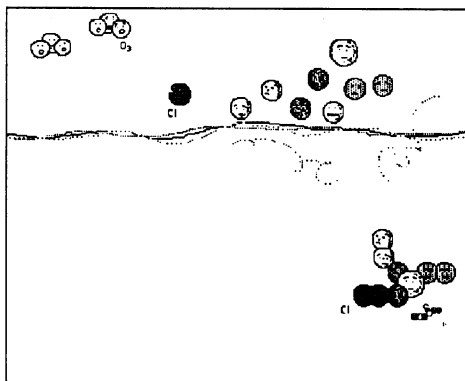
飢餓は、この星で群を抜いて大きな死の要因であり、全死亡原因の40%を占めている。 下痢、出産死――出産中あるいは出産後すぐの死――、癌、心臓病、肺炎はそれぞれ世界の死の原因の10%にしかすぎない。 飢餓は、最大で最強の人類の敵である。

実際にカロリーの欠乏でたおれる者は、ごく僅かである。 栄養失調は人体の抵抗力を弱め、病気に罹りやすくする。 死亡証明は下痢や肺炎となっていても、本当の死の原因は、しばしば栄養失調である。 体の抵抗力が栄養失調で弱められやすい子供の場合、特にそうである。 栄養失調の子供は病気に罹りやすく、死にやすい。 栄養失調が原因の4千万人の死亡者のうち、1千5百万人は子供である。

4千万人という死亡者数は、様々な枯渇にみまわれた人々のうち、最も明白なケースを元に算定されている。 その中には、深刻な栄養不良の5億の人々は含まれていない。 それらの人々は飢えているとは見なされないが、体は弱まり諸機能が害されている。 彼らの死亡率は、栄養の足りた者より高いが、その死亡率に対する栄養不良の影響を査定することは、他の原因の可能性を調べるのに比べ、全く困難である。

食事は、工業国の死の最大の原因となっているが、問題は全く逆である。 北半球の食事の量の多さと脂肪分の過多は、心臓病や癌の原因である。 つまり、我々は大量の食物を確保することで、貧しい人々を飢えさせ、我々自身を殺しているのだ。 これはカロリック・カルマ（栄養の宿命）と呼ぶべきだ。

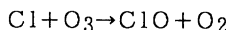
成層圏のフロン

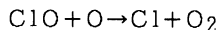
Stratospheric CFC

成層圏に入り込んでいるフロンは、ごく少量だ。 これはフロンの分子が、大気の大部分を構成する窒素や酸素分子よりも重いために、大気の低い層に漂う傾向があるからだ。 しかし中には、成層圏へ昇るものもあって、悪影響をもたらしている。

対流圏のフロンは非常に安定的で、どんな物とも反応しない。

しかし成層圏では状況は変わる。 そこで太陽の紫外線と出会うと、フロンは分解されて独立した塩素原子となり、そこから問題が始まる。

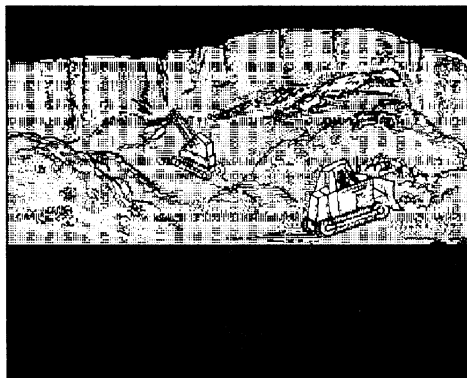
まず塩素原子はオゾン分子と出会って酸素を奪い、オゾン分子を普通の酸素分子に変える。

$$Cl + O_3 \rightarrow ClO + O_2$$

しかし、気難しい塩素と酸素原子の関係は長続きせず、単独の酸素原子に出会うと、酸素原子を手放してしまう。

$$ClO + O \rightarrow Cl + O_2$$

塩素が最初と全く同じ状態に戻ったことに注目して欲しい。 こうしたことを行う化学物質を「触媒」と呼び、触媒はこれを何度も何度も永遠に繰り返す。 また、オゾンが元にもどらない事にも注意して欲しい。 オゾンから見れば、この一組の反応によって、1個のオゾンと1個の単独の酸素原子が、二つの酸素分子に転換されたのだ。 このオゾン破壊反応は無限に続くのだろうか。

全く無限にではない。 塩素は他の塩素原子と結び付いて塩素分子となり、オゾン破壊者としての仕事を終える事もある。 しかし塩素原子は、成層圏から離れた場所にごく少量存在するだけなので、一個の単独の塩素原子は塩素分子になるまでに、10万個のオゾン分子を破壊するだろう。

露天掘り

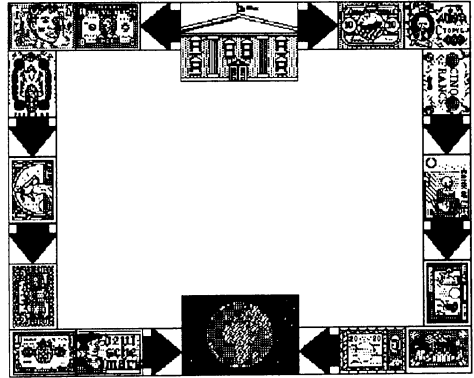
Strip Mining

何世紀にもわたって人間は地下に立て坑を掘り、貴重な金属や鉱石を捜し出す採掘を行ってきた。 しかし動力機械が出現して、何トンもの土を素早く取り除くようになると情況は変わった。 今人間は掘り出す代わりに、すくい取る。 基本的なやり方は、採りたい物質の上にかぶさったくずを押し退けて、それから必要な物をすくい上げるということだ。

複雑な採掘設備はいらない。 坑道に空気を送り、水を汲み上げるという心配もいらない。 大型の土木機械と、鉱石を運び出すトラックだけで良い。 安全はもうひとつの利益だ。 古い立て坑式の鉱山は危険である。 天井は陥没して坑夫を押し潰す。 メタンガスがくぼみに溜り爆発すると、坑道火災で坑夫が死ぬ。 今世紀に約10万人の炭鉱夫が坑道事故で死んでいる。 毎年4千人が石炭の粉塵を吸うことによって起こる肺疾患（鉱山病）で死んでいる。 露天掘り鉱山では、仕事は野外で行われる。 大型の機械による坑夫の死亡事故はあるが、事故率は非常に低い。

しかし、露天掘りは独自の問題を抱えている。 表土の堆積（選鉱くずと呼ばれる）に雨が降ると、雨は硫黄などの鉱物に染み込み、それが小川や地下水に流れ出す。 その結果、汚染物質が水源を数十年も使えなくすることがある。 また土壌そのものも破壊され、生き物を養うことができなくなる。

アメリカでは1970年代に、露天掘りの経営者に土地を元の状態に戻すことを要求する法律が成立した。 経営者は表土を保存し、採鉱を終えて穴を埋め立てた上に、それを元通りに撒かなければならない。 しかし、露天掘りが最も盛んに行われた、乾燥した西部の州では、これはうまく働かなかった。 草を育てる十分な雨なしでは土地は回復しないからだ。 東部では問題は短期の露天掘り業者、多くはブルドーザーとトラックしかもたない少数の人間によって起こされる。 彼らはたった10エーカーの土地を露天掘りし、元に戻さずに放置する。 大勢の行政官の働きなしには、こうした人間を捕まえることは難しい。

補助金

Subsidies

このゲームでは、様々な種類の補助金を出すことができる。 そのひとつは研究費で、新しい技術の研究と開発を助けるものだ。 研究開発には金がかかる。 地球全体で、研究開発に4百万人の科学者や技術者を使い、およそ2千5百億ドルが費やされている。 その25%は軍事的研究開発に、15%は物理や化学等の基礎的研究に、残りはその他の様々な研究に使われている。

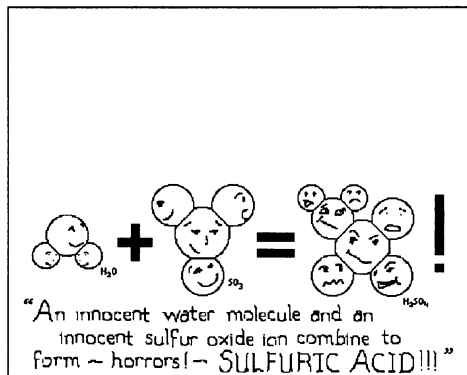
基礎的研究は、応用研究を成功させるために必要なパイオニアで、この事はシミュレーションの公式に盛り込んである。 さらに投資が規則的で確実であれば、研究は大変生産的である。 莫大な金を研究費につぎ込んでも、すぐに利益を得ることはできない。 研究の努力は長い年月にわたって積み上げなければならない。 研究は技術を作り出し改良して、商品の生産コストを引き下げ、技術の安全性を高め、環境問題にかかるコストを引き下げる。

このゲームにおける、その他の補助金の基本形式は、ある種の活動を援助する直接の補助である。 ダム使用の補助金や太陽エネルギーの補助金の場合、補助金は直接そうした施設を建設する人々に与えられ、価格を引き下げ、需要を増大させる。

一方、家族計画やリサイクルセンターや薪ストーブへの補助金もある。 これらは、そうした活動を促進する地方機関への直接の補助の形をとる。 家族計画センターでは、資金は避妊教育、避妊薬、避妊手術などに使われる。 リサイクルセンターへの補助金は、収集所、輸送費、処理設備などにあてられる。

薪ストーブに補助金を出すのは、おかしな事に思えるかもしれない。 しかし、薪は数十億の人々にとって主要な炊事用燃料で、彼らの多くはたき火によって炊事を行っている。 これらの人々に簡単な薪ストーブを供給することによって、薪の消費を半分近く減らすことができる。 これにより、彼らが集めなければならない薪の量は減少し、森林破壊や砂漠化を少なくすることができる。

二酸化硫黄

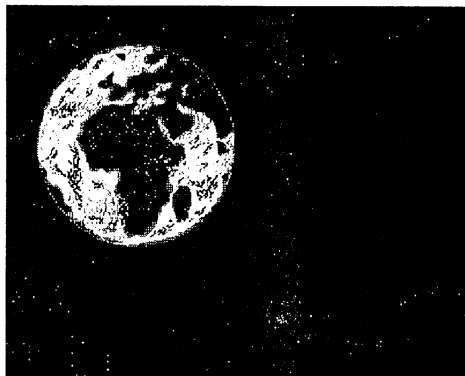
Sulfur Dioxide

二酸化硫黄は、硫黄を含む化合物を燃やした時に必ず作られる。

石炭は、大量の硫黄を含む唯一の燃料である。 石炭に含まれる硫黄の量は、石炭の産地によって決まる。 アパラチアン山脈で採掘される瀝青炭は、重量の2%から3%という高い硫黄含有率を持っている。 ロッキー山脈地域から取れる石炭はより複雑だ。

ユニタ盆地やブラック・メサ平原（ユタ州とコロラド州にまたがる）で採れる石炭は、2%の硫黄を含む瀝青炭だ。 ワイオミング州で採れる石炭は、0.5%しか硫黄を含まないがエネルギー価は硫黄含有率の高い石炭より低い。 そして北部大草原（ノース・ダコタ州とモンタナ州の一部）の炭田は、亜炭を多く含んでおり、これはエネルギー価も硫黄含有率も低い。

重要なことは、石炭に含まれる硫黄が、石炭を燃やす時に二酸化硫黄になるということである。 二酸化硫黄が水蒸気と結び付くと硫酸ができる。 反応の過程は少々こみいっている。 二酸化硫黄（SO_2）と水（H_2O）は、硫酸（H_2SO_4）になるには酸素原子が足りない。 実際に必要なのはSO_3イオンである。

持続能力

Sustainabiity

これは、日常生活に直接に関わってはこないが、長期的に見れば人類の生死を分ける、単純で基本的な原理のひとつだ。「持続能力」を理解するには、二つの基本的な概念「資本資源」と「収入資源」を理解しなければならない。

資本資源とは、我々の元々持っている有限の資源の蓄えである。

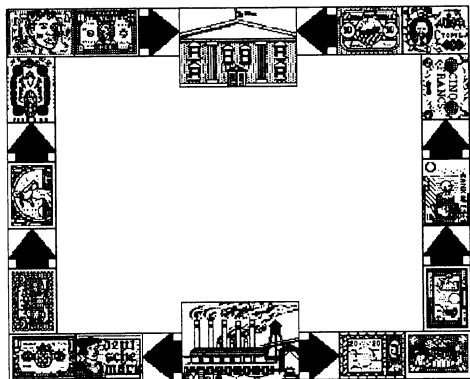
石油、石炭、天然ガスといった化石燃料は、資本資源の良い例だ。我々は化石燃料の大きな蓄えのある黄金時代から出発したが、それらを燃やし尽くそうとしている。地下水は、もうひとつの資本資源だ。地下にはたくさんの水がある。それは数千年かかって蓄積されたのに、再蓄積を待たずに地中から急速に汲み出されている。鉱物もまた資本資源のひとつだ。これらすべての資源は、一度使ってしまえば二度と取り戻すことができない。

収入資源とは、太陽エネルギー形態のような、自然に補充される資源である。それは我々が年毎に手に入れる収入だ。太陽エネルギーは太陽から絶えず降り注ぐので、使い尽くしてしまうことはない。雨水（資本資源である地下水とは逆に）は収入資源の形の水である。収入資源の形をとる様々な鉱物もある。つまり再生資源である。

持続能力とは、資本資源に頼るのではなく、収入資源にたよる生活を表す概念だ。

我々は、この理想を完全に実現することはできないが、できるだけ資本を使わず、収入を使うように務めることはできる。このまま放置すれば、資本資源の枯渇から起こる経済の不安によって、間違いなく我々は破滅するだろう。我々の任務は、何とかして現在の持続不可能な経済から、できる限り持続可能な経済へスムーズに移行することだ。我々は資本資源から引き出した富を使って、持続可能な土台の上で機能するための、より高価な経済機構を建設しなければならない。これは困難だが、せめて一世紀の間に何とかしなければならない。まごまごしていると貴重な数十年が失われ、我々の子孫には移行が不可能になるかもしれない。

税

Tax

（この項は、ゲームで徴収するすべての種類の税を扱う）
歴史的には、税は政府に支払うために徴収されてきた。 問題は、たやすく課税できる事業を見つけることだった。 多くの経済活動は、税収吏がそこらを嗅ぎ回り始めると、すぐに地下に潜ることができ、課税に不向きなものになってしまう。

今世紀、経済システムの働きに急激な変化が見られた。 銀行は経済活動の中心に浮かび上がった。 以前は、経済的取引は直接貨幣で処理された。 経済の規模が大きくなるにつれ、人々は毎日の小さな取引にのみ貨幣を使い、資産の大部分を銀行に預ける必要を感じた。 経済全体が銀行に集中したことによって、政府は経済の”脈”を監視し（この言い方に従えば）確実に”血”を吸い上げることができるようになった。

このことは、課税の焦点を確実に合わせる効果も生んだ。 かつて税の徴収はスマートな仕事ではなかった（人頭税、塩税など）が、今や特殊な経済活動に課税することも可能になった。 例えば「罪悪税（sin tax）」のように、アルコールやタバコの消費といった特定の活動を抑制する為に立案されたものもある。

このシミュレーションで税を徴収することは、効果の程度は違うが、二つの目的に役立つ。牛肉の生産や木材の伐採に対する税が小収入しか生まず、産業を抑制してしまうのに比べ、石油への課税は豊かな見返りを与えてくれる。 商品への効果は、簡単に計算できる。 税は、製品の実際の価格の値上がりによって、需要を減少させる。 税による需要の減少の程度は、価格に対する税の割合によって決まる。 このシミュレーションでは、開始時にすべての税は商品価格の1%となっている。 つまり、最初のうちは税は工業にあまり影響がないということだ。 もし税金を最大限（1ターンに四倍まで）引き上げていったとしても、価格に大きな比率を占めるまでには最低3ターンかかる。

資源の使用総量

Total Use

（この項は、石炭の使用総量、重金属の使用総量、天然ガスの使用総量、原子力の使用総量、石炭の使用総量を扱う）

重金属のような自然資源について考えてみよう。 地球には大量の重金属があるが、簡単に手に入れることができるものばかりではない。 地表にあって、拾い上げられるのを待っているものもある。 地表近くに埋まっていて、採鉱しやすいものもある。

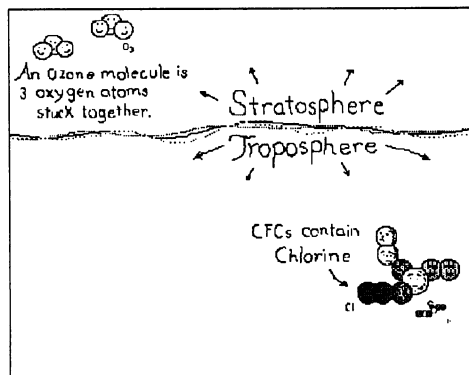
しかしより深い地中にあって、採鉱が難しいものもある。 高純度の鉱石もあれば、純度が低く精練に費用がかかるものもある。 石油が地表に涌き出し、コップですくうだけで良かった時代もある。 石炭は地表を裂くように埋まっており、採炭はシャベルでも足りた。 しかし我々は、手に入れ易い資源はすべて手に入れ、あとどれだけ残っているかが気にかかっている。

その答えは、それを手に入れる為にどれだけ骨折って働くつもりか、つまりどれだけ金を支払うかにかかっている。 地面もサイフもできる限り深くまで掘り進む気があれば、どんな物でもたくさんある。 これがこのシミュレーションで使う基本的な仮定である。 値段を倍にすれば、手に入れることのできる資源の量は2倍になる。 これは単純で基本的に見える仮定である。

しかし、ここには落とし穴もある。 ひとつは投資の実質の見返りである。 例えば、地下深くに石油の最後の1バレルが埋まっているとしよう。 あなたはスチームシャベルやブルドーザーや、その他石油動力のあらゆる採掘機材を使って掘り出すとする。 もしその1バレルを手に入れるのに2バレルの石油を費やすとすれば、これは石油の浪費である。 地中に埋まる資源が豊富であっても、それを手に入れるためにそれ以上の資源を使用しなければならないなら、存在しないのと同じことになる。 一方、技術的な問題もある。 技術の改良は経済的に手が届かないと思われていた資源を、手に入れることを可能にする。

これらの二つは互いに相殺するのだろうか？ 私には分からない。

対流圏のフロン

Tropospheric CFCs

フロンの優れた点（「フロンの生産」を見よ）は、全く化学反応を起こさないことだ。フロンは放出されても燃えず、腐食を起こさず、毒性もなく、癌を引き起こしたりもしない。単に吹き飛ばされ消散するだけだ。しかしそれから何が起こるのだろうか？

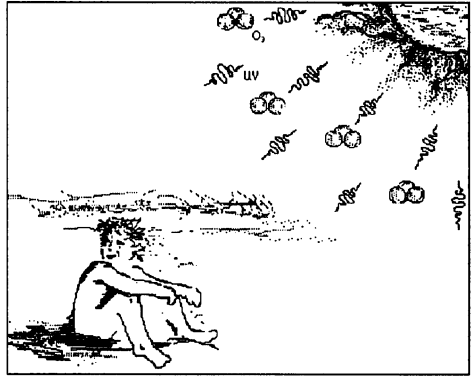
1971年に、ジェームズ・ラブロックという名の科学者が、その疑問に答えた。

フロンが崩壊しにくいことに気付いた彼は、それが気団の動きを追跡するのに優れた目印になると考えた。フロンは北半球の大陸で生産され、放出されている。フロンの動きを他の地域、特に南半球で追跡することによって、大気中の空気の流れをもっと知ることができるだろう。これは、風にどう運ばれるかを見るために気球を飛ばすのに似ているが、フロンは気球と違って破裂したり地面に落ちたりはしない。

ラブロックはフロン検出器を作り、南極大陸へむけて研究船を出帆した。彼の研究によって、フロンが破壊されておらず、放出されたフロンの全重量が大気中にただよっていることがはっきりと確かめられた。彼はこれを単に面白い変わった現象と考えたが、他の科学者に別の意味合いを考えるきっかけとなった。

対流圏のフロンは崩壊しにくいが、影響がないわけではない。僅かな割合だが、フロンは成層圏に押し上げられ、そこでオゾンに大きな影響を与える。対流圏のフロンも温室効果の原因となる。フロンは地球表面から来る赤外線を吸収し、地球へ向けて再放射する。これによって地球は温暖化される。現在対流圏にはそれほど多くのフロンはないが、1個のフロン分子は二酸化炭素分子に比べ、10万倍も赤外線を遮る力がある。つまり温室効果におけるフロンの役割は馬鹿にできないのだ。

紫外線

Ultraviolet Light

光のすべての形態は、スペクトラム（分光）上に存在する。 可視分光とは、その中の目で見ることのできる部分だ。 それは赤に始まり、橙、黄、緑、青、紫と続いている。 しかし分光全体は、紫で終るのではない。 それは目に見えない形の光に続く。 紫外線は、紫に続く最初の分光の帯である。 紫外線の次には、X線とガンマ線が続く。

分光は単なる色の段階ではなく、エネルギーの大きさの段階でもある。 赤の光から緑、青、紫外線、X線、ガンマ線と進むほど、光のエネルギーは増大する。 X線は高いエネルギーで、人体を貫き通すという性質――このためX線写真機が病気の診断に使用される――を持っている。 青い光は弱すぎるため、体を貫くことはできない。

紫外線はX線ほどの力がないため、体を貫き通すことは出来ないが、浅い皮膚の中まで侵入する力はある。 その力によって、紫外線は体の中で働く繊細な分子を破壊することがある。 紫外線が皮膚を攻撃すると、幾つかの皮膚細胞は即座に破壊され、損傷はさらに広がる。 皮膚は赤く変わる。 この現象は「日焼け」と呼ばれている。 しかし日焼けばかりではなく、紫外線は皮膚細胞の遺伝子を変化させ、この遺伝子の変化は皮膚癌となって現れてくる。

しかし、さらに悪いことが起こっている。 植物や樹木は、普通何ケ月も何年もずっと日光の下にあり、少量の紫外線に対しては抵抗を持っているが、大量の紫外線に抵抗する力はない。 海洋に漂い日光を魚類の食物に転換している、植物性プランクトンの細胞についても同じ事が起こる。 すべての植物、樹木、植物性プランクトンに、それぞれ日除けの覆いをかけてやれない限り、紫外線の増加は地球にとって脅威となる。

水の汚染

Water Pollution

水は溶剤である。 これは、多くの物質が水に溶けるということを意味する。 それが、水が地球上の全ての生命の基礎となっている理由だ。

細胞は化学物質の詰まった水袋だ。 化学物質はすべて水に溶けており、細胞の中を自由に動き回って、互いに生化学的に必要な反応を起こし、それによって我々は生きている。

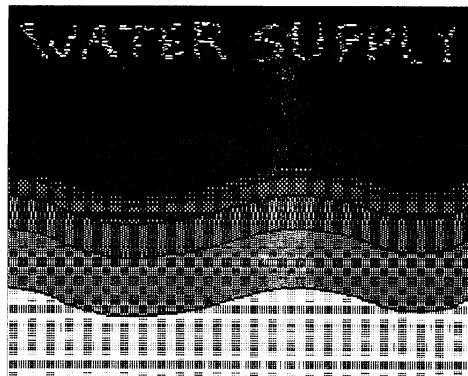
水は溶解の能力によって生化学反応の中心になっているが、同じ性質が他の種類の化学反応の侵入を許す元になってもいる。 どんな種類の化学物質でも、水に混ぜればその一部は水に溶ける。 そして水がどこへ行こうとも、その中に残る。 つまり水は化学物質を運ぶ乗り物である。 水がヌクレオチド——核酸の基本単位——を細胞の中に運ぶのは許せるが、飲料水の中に毒を運んで来るのは許すことができない。 しかし、どちらの場合も水は自分の性質に適ったことを行っているだけだ。

我々が水に捨てる汚染物質はとどまるところをしらない。 我々は汚染物質を全く堂々と捨てている。 あらゆる種類の、非常に多くの汚染物質を運び去ってくれるものとして、我々は水を使っている。 誰でもそうしている。 工場が数千ガロンの毒性の汚物を川に吐き出すことと、家庭の人が手に付いたペンキを洗い落とし、汚れた水を排水溝に流すこととは基本的に違いがない。

ありがたいことに、工場は汚染物質の放出を急激に減らすことができる。 工場は工業廃棄物を集める濾過装置を設置することができ、それによって再生や、安全な形態への化学的な変換による濃縮処理が可能になる。

しかし残念なことに、目に見えないレベルの水の汚染は、ほとんど取り締まりができない。数百万の家庭から出る汚染を取り除くために、我々ができることはほとんどない。

水の供給

Water Supply

地球の水の蓄えは、合計すると驚くべき量となる。 地球は1.38×10^{18}トンの水に恵まれている。 これは地球上のすべての男性、女性、子供に分配すれば、一人あたり5億トンになる。 5億トンとはどれぐらいか？ 深さ100フィートで、直径10マイルの自分専用の湖を持っていると考えれば良い。 これは十分な量か？ 残念ながら水の大部分は海水である。 それを飲んだり、穀物に潅漑することはできない。

海水を取り除いてしまえば、残るのは直径1.5マイルの小さな湖である。 さらに氷河や万年雪の固まりを取り除けば、湖は深さ50フィート、直径1000フィートまで縮まる。 地中深くにある地下水を取り除けば、深さ30フィート、直径200フィートの池となる。 これでも、水はたくさんある。

しかし現実はもっと悪い。 水は地球の表面に平均に分布しているのではない。 ある場所には莫大な余分の水があり、ある場所には水がほとんどない。 例えば、アラバマ州では平均一年に64インチの降雨があるが、ネバダ州では4インチしかない。 この違いを地球上で水を移動させることによって補うことは、まだ出来ない。 何百万トンもの水を、何千マイルも移動させることは、高くつき過ぎて不可能である。 気候風土は広い地域に広がっているものだ。 水の豊かな地域が、水の乏しい地域に接していることは希である。 多くの場合、湿った地域と乾燥した地域の間には山脈があり、水を移動させるという仕事を困難にしている。 つまり、水の長距離の移動を行わなくてはならず、さらに金がかかることになる。

結局、地球上の多くの地域では、水は浪費されているということだ。 あり余る食糧に恵まれた地球上で、数百万人が飢えているのと同じで、水不足が多くの文明を損なう原因になっている。 中央アジア、アフリカのサヘル地域（サハラ砂漠南端）、アメリカ中西部で、水不足は年々深刻になっている。

■ご注意■

・製品には万全を期しておりますが、万一製造上の不備による不良などがございましたら、弊社宛て御連絡ください。
・本ソフトウェアと取扱説明書の著作権は弊社が所有しています。本ソフトウェア及び取扱説明書は著作権法で保護されており、内容の一部または全部を無断で複写することは法律により禁止されています。
・本ソフトウェアまたはその複製を同時に二人以上で使用することはできません。また、このプログラムは個人として利用するほかは著作権法上、当社に無断で使用できませんので、ご注意ください。
・本製品を用いて運用されました結果の影響につきましては、前項にかかわらず責任を負いかねますのでご了承ください。
・当製品はクリス・クロフォード氏よりライセンスを受けて、当社が国内販売しております。もし著作権等を犯す行為があった場合クリス・クロフォード氏の著作権侵害に問われることになります。